

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESINA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS
UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UN
SISTEMA**

**AUTORA:
MICHELLE GABRIELA ORTIZ SOSA**

**TUTOR:
GUSTAVO JAVIER CAIZA GUANOCHANGA**

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo MICHELLE GABRIELA ORTIZ SOSA con documento de identificación N° 1716273139, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado “DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UN SISTEMA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

A handwritten signature in blue ink, reading "Gabriela Ortiz", is written over a horizontal line.

Michelle Gabriela Ortiz Sosa

C.I.: 1716273139

Quito, febrero del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UN SISTEMA” realizado por Michelle Gabriela Ortiz Sosa, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero 2020



Gustavo Javier Caiza Guanochanga

C.I.: 1721192191

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto, principalmente, a Dios quien ha sabido guiar y cuidar mis pasos.

A mis padres Liz y Tito de quienes siempre he tenido apoyo en cada momento de mi vida, por su ejemplo, amor y dedicación para conmigo.

A mi hijo Juan Sebastián que ha sido la principal fortaleza para mí para concluir mis metas; a mi compañero de vida, Sebastián, por su infinito apoyo.

A mi abuelita Olga.

Gabriela

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por siempre estar pendientes de mí, por su apoyo incondicional.

Al Ingeniero Gustavo Caiza, MSc. por los conocimientos compartidos a lo largo de la carrera, por la oportunidad de la realización de esta tesis y la asesoría del proyecto.

A mis familiares y amigos que han estado pendientes de mí.

Finalmente, a esta prestigiosa Universidad por permitirme ser parte de ella.

Gabriela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR; **Error! Marcador no definido.**

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Alcance del proyecto	3
1.5. Metodología.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1. Industria 4.0.....	4
2.2. Red de sensores Inalámbricos	5
2.2.1. Características de una red de sensores inalámbricos	6
2.2.2. Topología	6
2.2.3. Elementos de una red de sensores inalámbricos	9
2.2.4. Factores de diseño de una red de sensores inalámbricos	10
2.2.5. Ventajas y limitaciones de una red de sensores inalámbricos	12
2.2.6. Aplicaciones.....	13
2.3. Comunicaciones Inalámbricas.....	14
2.3.1. Clasificación de las comunicaciones inalámbricas	14
2.3.2. Estándares de las comunicaciones inalámbricas.....	17
2.3.2.1. Tecnología Wifi	17
2.3.2.2. Zigbee.....	17
2.3.2.3. Bluetooth.....	18
2.3.2.4. Tecnología LoRa.....	18

CAPÍTULO 3.....	24
DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	24
3.1. Introducción.....	24
3.2. Estructura de la red.....	24
3.3. Registro de los dispositivos en la plataforma “The Things Network”	25
3.4. Registro en la plataforma “Ubidots” - Aplicación	26
3.5. Nodos Clientes.....	28
3.5.1. Hardware Nodo Cliente	30
3.5.2. Software Nodo Cliente.....	31
3.6. Hardware Gateway LoRa	34
3.7. Topología a implementar.....	36
3.8. Planos de la maqueta	37
3.8.1. Vista Isométrica	37
3.8.2. Vista Superior	38
3.9. Diseños de las placas	38
3.9.1. Nodo 1.....	38
3.9.2. Nodo 2.....	39
3.9.3. Nodo 3.....	39
CAPÍTULO 4.....	40
PRUEBAS Y RESULTADOS	40
4.1. Introducción.....	40
4.2. Monitorización del tiempo de transmisión entre paquetes en el Gateway ..	40
4.3. Análisis de la recepción de paquetes en el Servidor trabajando con un nodo cliente41	
4.4. Análisis de la recepción de paquetes en el Servidor trabajando con tres nodos clientes.....	42
4.5. Monitorización del tiempo de recepción de datos de variables análogas y digitales en el Servidor.....	43
4.5.1. Variable análoga	44
4.5.2. Variable digital	44
4.6. Aplicación en Ubidots	45
4.7. Maqueta - Planta clasificadora	47
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Topología red Estrella.....	7
Figura 2.2. Topología red malla.....	7
Figura 2.3. Topología red en árbol.....	8
Figura 2.4. Red de sensores Inalámbricos.....	9
Figura 2.5. Diagrama Red WLAN	15
Figura 2.6. Diagrama Red WMAN	16
Figura 2.7. Diagrama Red WWAN.....	16
Figura 2.8. Protocolo LoRaWAN	22
Figura 3.9. Estructura de la red	25
Figura 3.10. Registro del Gateway en la plataforma "The Things Network"	26
Figura 3.11. Registro del cliente en la plataforma "The Things Network"	26
Figura 3.12. Token en la plataforma "The Things Network"	27
Figura 3.13. Variables en las plataformas "The Things Network" y "Ubidots"	28
Figura 3.14. Estructura Nodo Cliente	31
Figura 3.15. Pin mapping ESP 32 (V2), Arduino	32
Figura 3.16. Identificador del dispositivo en la plataforma "The Things Network" ..	32
Figura 3.17. Parámetros provistos por la plataforma "The Things Network" a los dispositivos.....	33
Figura 3.18. Módulo Dragino LoRa / GPS_HAT	35
Figura 3.19. Programa Gateway - Raspberry Pi	36
Figura 3.20. Vista Isométrica de la maqueta.....	37
Figura 3.21. Vista superior de la Maqueta	38
Figura 3.22. Diseño Placa Nodo 1	38
Figura 3.23. Diseño Placa Nodo 2	39
Figura 3.24. Diseño Placa Nodo 3	39
Figura 4.25. Recepción de datos en el Gateway	41
Figura 4.26. Monitorización del tiempo de recepción de variables análogas y digitales	43
Figura 4.27. Intervalos de tiempo de recepción de una variable análoga	44

Figura 4.28. Intervalos de tiempos de recepción de una variable digital	45
Figura 4.29. Interfaz gráfica en Ubidots	46
Figura 4.30. Variable Análoga en "Ubidots"	46
Figura 4.31. Resultado final de la maqueta.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de las Revoluciones Industriales	4
Tabla 2.2. Cuadro comparativo de topologías	9
Tabla 2.3. Trama física de LoRa	19
Tabla 2.4. Tabla comparativa de las redes de comunicación inalámbrica	22
Tabla 3.5. Características de los sensores y actuadores	29
Tabla 3.6. Características ESP 32	30
Tabla 3.7. Características Raspberry Pi 3 modelo B +	34
Tabla 3.8. Especificaciones Dragino LoRa / GPS_HAT	35
Tabla 4.9. Registro de muestras tomadas en el Servidor trabajando con un nodo.....	41
Tabla 4.10. Registro de datos Nodo 1	42
Tabla 4.11. Registro de datos Nodo 2	42
Tabla 4.12. Registro de datos en el Nodo 3	43

RESUMEN

El presente documento detalla el desarrollo de una red de sensores inalámbricos implementada en un prototipo didáctico que simule un proceso real, utiliza tecnología LoRa para la transmisión de datos de forma inalámbrica entre los dispositivos con el fin de monitorear las variables involucradas en el proceso mediante una interfaz gráfica desarrollada por un aplicativo web.

La red de sensores inalámbricos consta de tres nodos clientes que recolectan información de la planta a través de sensores. Estos tienen comunicación directa mediante LoRa con el Gateway para transmitir los datos de la planta. El Gateway retransmite la información que recibe de los nodos clientes a un Servidor en Internet denominado “The Things Network” la cual ha conformado una sociedad abierta de Gateways y nodos que admite conectividad de diferentes dispositivos IoT a nivel mundial de forma gratuita. El proyecto servirá para futuras investigaciones o aplicaciones referentes a las redes de sensores inteligentes que utilicen tecnología LoRa.

ABSTRACT

This document describes the development of a Wireless sensor network implemented in a didactic prototype that simulates a real process, it uses LoRa technology for Wireless data transmission between devices in order to evaluate the variables involved in the process through a digital interface developed in a web application.

The Wireless sensor network consists of three client nodes that collect information from the process through sensors, nodes have direct communication by LoRa with the Gateway to transmit information from the process. The Gateway relay the information it receives from client nodes to an Internet Server called “The Things Network” which has forme an open society of Gateways and nodes that supports free connectivity of different IoT devices worldwide.

The project can be used for future research or applications related to smart sensor networks with LoRa technology.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tecnologías inalámbricas han tenido un desarrollo significativo, entre los avances más significativos se encuentran las redes de sensores inalámbricos, sus aplicaciones se ven ilimitadas en diferentes sectores debido a sus características y prestaciones. El presente proyecto de titulación detalla el desarrollo de una red de sensores inalámbricos mediante tecnología LoRa con el fin de observar el funcionamiento de la red.

El capítulo uno detalla el planteamiento del problema, justificación, objetivos tanto generales como específicos, alcance del proyecto, y finalmente la metodología que se utilizó para llevar a cabo su desarrollo.

El capítulo dos abarca el marco teórico con nociones fundamentales que se tomaron en cuenta para el desarrollo del proyecto, partiendo por lo que se comprende como industria 4.0 que engloba el tema de internet de las cosas el cual es inevitable mencionar al momento de hablar de una red de sensores inalámbricos. De igual manera se incluyen temas concernientes a las comunicaciones inalámbricas como su clasificación, ventajas, estándares donde se pone principal énfasis a la tecnología LoRa.

En el capítulo tres se puntualiza sobre el desarrollo que se llevó a cabo para la implementación de la red inalámbrica, los componentes que se utilizaron tanto para el Gateway como los nodos clientes, así como la configuración de los mismos.

El capítulo cuatro expone las pruebas realizadas en la transmisión de los datos realizadas al proyecto técnico.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al desarrollar el proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

Dado que la industria evoluciona, los diferentes tipos de tecnologías deben adaptarse a sus cambios. La inclusión de la industria 4.0 ha desarrollado diferentes metodologías para múltiples aplicaciones, como son las redes de sensores inalámbricos (WSN), que se consideran parte integral de la Internet del futuro, son el resultado de los avances tecnológicos en electrónica, nanotecnología, desarrollo de redes y robótica (Matus Ruiz & Ramírez Autran, 2016), teniendo en cuenta que las WSN están siendo integradas con mayor fuerza en la actualidad, se plantea realizar un estudio al implementar una red de sensores inalámbricos que funcione con tecnología LoRa.

Para las comunicaciones inalámbricas existen varias alternativas en el mercado, las más comunes son WiFi, Bluetooth, Zigbee, entre otros. Este proyecto quiere analizar el comportamiento de una red inalámbrica con tecnología LoRa.

LoRa es una realidad ya confirmada. Actualmente, más de 100 países disponen de redes LoRaWAN con múltiples casos exitosos. En Europa, actualmente, hay más de 80 millones de sensores conectados bajo redes LoRaWAN. (Bryskowski, 2019). En una entrevista para *telesemana.com*, Remi Lorrain, que trabaja en la alianza para impulsar el desarrollo de LoRa, mencionó que el mercado latinoamericano es una realidad, pero todavía no hay despliegues nacionales en cada país de la región. (Lorrain & Beaujard, 2019).

El concepto de Industria 4.0 encajaría perfectamente en la visión del cambio de la matriz productiva en el Ecuador. Algunos expertos creen que el estancamiento tecnológico podría posicionar a algunas empresas en la segunda y tercera Revolución Industrial. (Zumba R., 2016). Por esa razón el país deberá apostar por introducirse dentro de este avance tecnológico denominado industria 4.0 iniciando por brindar un nivel de preparación a los más jóvenes para tener un impacto en el mercado laboral actual y esto conlleve a investigaciones e inversiones que produzcan un importante desarrollo social.

1.2. Justificación

La Industria 4.0 presume un gran reto para el país, el desarrollo y estudio de nuevas tecnologías traerán un cambio positivo en la sociedad. Mientras más desarrollada esté la industria, habrá mejoras en el sector productivo, lo que conlleva a un desarrollo social más equitativo. Por lo que se puede decir que la industria permite generar un mayor crecimiento económico en la sociedad. (Glas Espinel, Alvarado Espinel, León Abad, & Parra Fonseca, 2015)

Dentro de la industria 4.0, las comunicaciones inalámbricas se encuentran en crecimiento y sus aplicaciones se ven ilimitadas en diferentes sectores como: control de procesos, alarmas, investigación biológica, aplicaciones medicinales y estudios meteorológicos, (Mazzeo, Rapallini, Rodríguez, & Zabaljauregui, 2018) dentro de este análisis es viable realizar un estudio tecnológico sobre las ventajas y limitaciones en las comunicaciones inalámbricas para una red de sensores.

Para la implementación de la red de sensores inalámbricos se optó por comunicación LoRa debido a las grandes ventajas que esta tecnología ofrece. El atractivo comercial de LoRa se debe a que un solo Gateway permite generar una red de topología estrella y de largo alcance, capaz de sostener miles de nodos conectados. (Jiménez Ballart, 2018)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información de las características que posee la tecnología LoRa para la selección del tipo de topología y estándares a utilizar para el diseño.
- Diseñar una red de sensores inalámbricos con Tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema autónomo.
- Implementar una red de sensores inalámbricos con tecnología LoRa, que permita una comunicación entre los dispositivos.

- Realizar pruebas de funcionamiento de la red de sensores inalámbricos con señales discretas y continuas para validar la comunicación del sistema.

1.4. Alcance del proyecto

El desarrollo de la red de sensores inalámbricos permitirá el manejo de varios sensores y actuadores con el fin de determinar las prestaciones, ventajas y desventajas del uso de la tecnología LoRa en redes inalámbricas.

Se podrá determinar la eficiencia de la tecnología LoRa a una distancia corta, sin embargo, para futuros proyectos se puede implementar los nodos clientes a una distancia más larga para de esa manera ver el comportamiento de la red.

1.5. Metodología

Como estudiante de Ingeniería Electrónica con mención en Sistemas Industriales se propone realizar una red de sensores inalámbricos con tecnología LoRa, la misma que servirá para observar el funcionamiento de la red utilizando este protocolo y futuras investigaciones.

En primer lugar, se utilizará la metodología inductiva ya que se realizará un estudio presencial, recolectando información relevante de artículos investigativos, tesis, papers, entre otros.

Como segundo punto se establecerá los procedimientos para la transmisión de datos, el cual tiene una forma y distribución de su matriz ya determinada, a través de la investigación deductiva.

En tercer lugar, se probará el monitoreo remoto del sistema, a través de la investigación experimental.

Finalmente se analizará los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el prototipo, a través de la investigación evaluativa.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Industria 4.0

La industria es el pilar de la economía de un país, la misma se refiere a un conjunto de procesos que tienen como objetivo transformar la materia prima en productos elaborados a través de la producción. (Maldonado, Proaño , & Equipo Editorial Ekos, 2015).

La noción que se tiene de industria 4.0 es relativamente nuevo y contempla el desarrollo e inclusión de tecnologías digitales en la industria. Es decir, la incorporación al ambiente de manufactura diferentes tipos de tecnologías como: las redes de sensores inalámbricos, sistemas embebidos, big data, the cloud, entre otros, que trabajando de manera conjunta representan un enfoque a la innovación. (Ynzunza Cortés, Izar Landeta, Bocarando Chacón, Aguilar Pereyra, & Larios Osorio, 2017)

En la Tabla 2.1. se encuentra detallado las características más importantes de las distintas revoluciones industriales.

Tabla 2.1. Características de las Revoluciones Industriales

Revolución Industrial	Período	Característica
Primera Revolución	Antes de finales del siglo XVIII - Mediados del siglo XIX	Fuentes de energía limitadas al fuego, fuerza animal y viento.
Segunda Revolución	Finales del siglo XIX - Finales del siglo XX	Introducción del gas y derivados del petróleo como combustibles y la electricidad como fuente de energía.
Tercera Revolución	Finales del siglo XX - Actualidad	Aparición de autómatas programables, innovación en microelectrónica,

		adopción de dispositivos digitales sustituyendo los análogos.
Cuarta Revolución	Actualidad	Enorme cantidad de información obtenida de internet a partir de sensores, conectividad y procesamiento de datos.

Primera, Segunda, Tercera y Cuarta revolución industrial. Fuente: (Garrel & Guilera, 2019). Elaborado por: Gabriela Ortiz

No se puede hablar de Industria 4.0 sin hacer referencia al concepto de Internet de las cosas, el cual se puede definir como el prototipo tecnológico de acceso a internet desde cualquier dispositivo en el que se pueda medir parámetros físicos y realizar tratamientos de datos inteligentes concernientes a los mismos. La popularización de conectividad inalámbrica, ha permitido presenciar el crecimiento de los dispositivos conectados. Este crecimiento, sobre todo, se ha confirmado durante los últimos diez años, donde han ido surgiendo nuevos conceptos como la RSI (Red de sensores inalámbricos). (Cruz Vega, y otros, 2015)

2.2. Red de sensores Inalámbricos

Una Red de Sensores Inalámbrica es un conjunto de elementos independientes interconectados de forma inalámbrica que obtienen información del entorno por medio de sensores y la retransmiten mediante la red hasta un servidor, que se encarga de registrar dicha información para la toma de decisiones con el fin de cumplir con una aplicación en específico. (Díaz Suárez, 2017).

Las comunicaciones inalámbricas han cumplido un papel muy importante en el avance de la sociedad, y han venido siendo utilizadas en diferentes áreas como en el monitoreo de ambientes hostiles donde se desea la mínima interacción de personas o factores externos, la gama de aplicaciones de una red de sensores inalámbricos es amplia contribuyen de forma potencial en la industria, medicina, ciencia, seguridad, permitiendo un monitoreo económico, continuo y en tiempo real. (Muñoz Barragán, Toquica Álvarez, & Padilla Bejarano , 2018)

2.2.1. Características de una red de sensores inalámbricos

Las particularidades más relevantes de una red de sensores inalámbricos son las siguientes: (Mesías Basurto, 2016)

- Integración con otras tecnologías y ciencias como la agricultura, biología, medicina, meteorología, entre otras.
-
- Se genera un ahorro significativo de recursos, principalmente por que no se utiliza de un medio físico (cables) para la transmisión de los datos.
- En una red de sensores inalámbricos se puede utilizar un número infinito de sensores, esto dependerá de la superficie y la aplicación que se le va a dar a la red.
- Al ser de recursos limitados y propensos a fallos los nodos de una red de sensores inalámbricos deben trabajar simultáneamente para que la red trabaje sin inconvenientes.
- Una red inalámbrica de sensores tiene comunicación broadcast donde el emisor envía información simultáneamente a los otros nodos receptores, mientras que otros tipos de redes utiliza una comunicación punto a punto.
- Posee limitada su capacidad de almacenamiento y almacenamiento de energía, sin embargo, pueden operar durante varios meses o años sin la necesidad de continuos mantenimientos.
- Los nodos en una red de sensores inalámbricos no poseen un identificador global como lo es una dirección IP dado a la sobrecarga de envío de datos y el número de sensores.

2.2.2. Topología

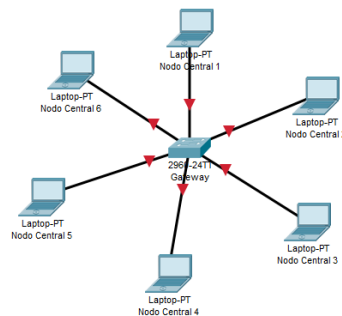
La topología de una red es la distribución física o lógica que es utilizada para la comunicación entre los diferentes nodos para el intercambio de datos, donde interviene un nodo principal y varios nodos secundarios, estos eligen la ruta más óptima para la transmisión y habitualmente operan de manera subordinada. (Guaña Moya, 2016).

En otras palabras, la topología de una red establece la configuración de las conexiones entre los diferentes nodos, la topología influye de manera considerable en la eficiencia de la red, existen varios tipos de topologías que se van a detallar a continuación.

a. Red en Estrella

En este tipo de topología cada nodo cliente va a interactuar de forma directa e individual con el nodo central o Gateway, por lo que la mayor carga de la red cae sobre él, generalmente el Gateway se sitúa en el centro de la red y los nodos clientes a su alrededor, el rendimiento de esta red va a depender de su tamaño, ya que a mayor tamaño mayor tráfico en el nodo central. (Guaña Moya, 2016)

Figura 2.1. Topología red Estrella

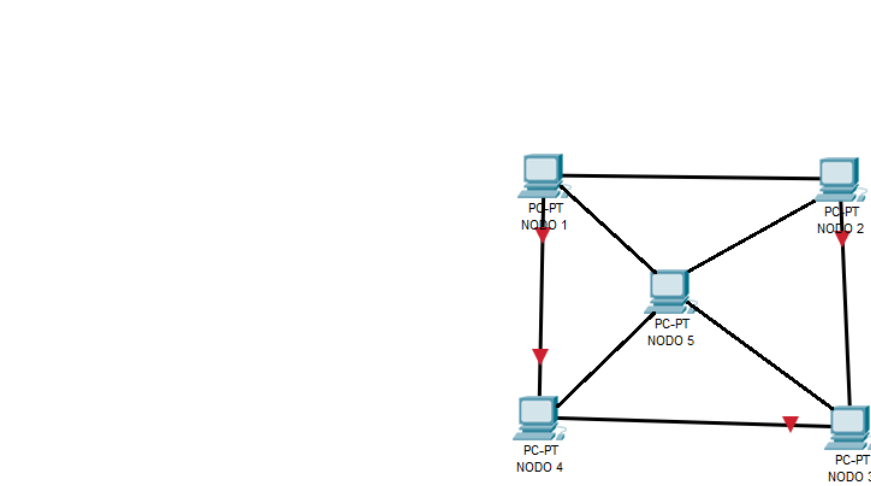


Topología en estrella. Fuente: (Dordoigne, 2015), Elaborado por: (Gabriela Ortiz)

b. Red de malla

También conocida como red Mesh. Este tipo de red admite una conexión múltiple entre nodos de esta forma es posible llevar la información de un nodo a otro buscando siempre el camino más eficiente, en el caso de que existiera la caída de un nodo, la red buscará un camino alternativo para la transmisión y no existirá la caída total de la red. (Guaña Moya, 2016).

Figura 2.2. Topología red malla



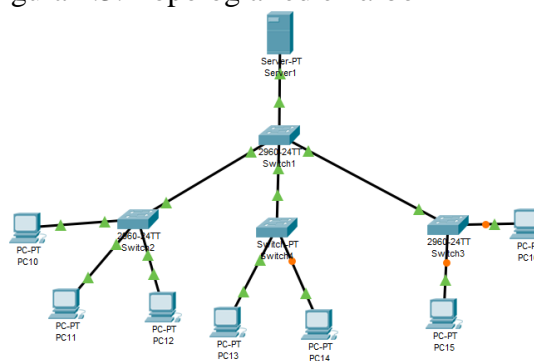
Topología malla. Fuente: (Dordoigne, 2015), Elaborado por: (Gabriela Ortiz)

Como se puede observar en la Figura 2.2 este tipo de topología no requiere de un nodo central a diferencia de la Figura 2.1 donde todos los nodos secundarios se conectan a un nodo central.

c. Red en árbol

Esta topología consiste en la unión de varias redes estrellas donde un nodo de enlace troncal sirve para la ramificación de varios nodos. La comunicación se ejecuta desde los nodos secundarios que buscan llegar a un nodo de mayor jerarquía, es decir buscan al nodo principal de cada enlace y así de manera sucesiva hasta llegar al Gateway. En este tipo de topología el fallo de un nodo no incide en el funcionamiento de la red. (Guaña Moya, 2016)

Figura 2.3. Topología red en árbol



Topología en árbol. Fuente: (Dordoigne, 2015), Elaborado por: Gabriela Ortiz

La Figura 2.3 indica que a diferencia de la Figura 2.1 que utiliza red estrella, los nodos de la red no necesariamente están conectados al nodo principal, en su lugar

buscan el camino para llegar al mismo. En la Tabla 2.2 se detalla un cuadro comparativo de las diferentes topologías.

Tabla 2.2. Cuadro comparativo de topologías

Red Estrella	Red Malla	Red Árbol
<ul style="list-style-type: none"> - Es la más sencilla - El rango de la red está limitado al rango de transmisión del coordinador - Fácil configuración 	<ul style="list-style-type: none"> - Los nodos finales solo pueden intercambiar información con sus nodos padres - Es posible el ruteo dinámico 	<ul style="list-style-type: none"> - Consiste en la unión de varias redes estrella. - Existe comunicación directa solo entre padre-hijo.

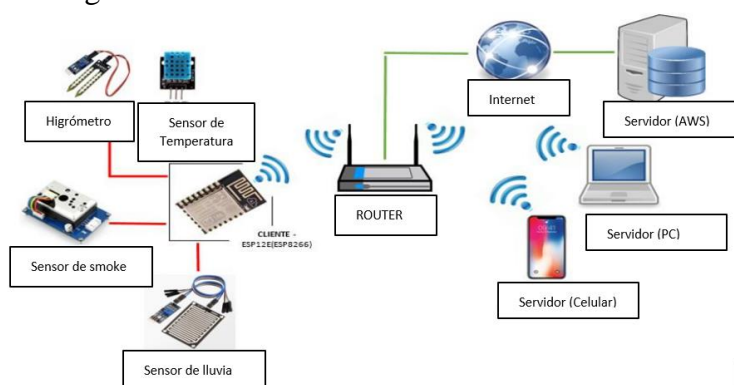
Topología estrella, malla, árbol. Fuente (Candia & Varela, 2017)

2.2.3. Elementos de una red de sensores inalámbricos

Una Red de Sensores Inalámbricos está formada por varios elementos, especialmente distribuidos, para que los elementos en conjunto puedan lograr el correcto funcionamiento y cumplir con la transmisión de la información que la red está programada a realizar, deben efectuar una función específica que sirve de base para la comunicación. (Parreño Sañicela & Solís Goyes, 2019).

Los elementos que interactúan en una red de sensores inalámbricos son los siguientes mostrados en la Figura 2.4 y detallados a continuación.

Figura 2.4. Red de sensores Inalámbricos



Esquema de Red de sensores inalámbrica. Fuente: (Mora Magallanes, 2019)

a. Nodos Sensoriales: Los Nodos Sensoriales también conocidos como Motas son elementos de la red de sensores inalámbricos que se encargan de recolectar información mediante sensores de algún evento o fenómeno físico y de igual manera transmiten dicha información a otro nodo. Se encuentran contruidos mediante un módulo de sensores, un módulo de procesamiento que consiste en un microcontrolador y un módulo de transmisión inalámbrica, todo esto alimentado por una fuente de energía independiente.(Parreño Sañicela & Solís Goyes, 2019)

b. Nodos coordinadores: Son los nodos que reciben toda la información de manera inalámbrica enviada por cada nodo sensorial dentro de la red de sensores inalámbricos, apilando esta información y reenviándola hacia el equipo encargado del almacenamiento o tratamiento de la información. (Parreño Sañicela & Solís Goyes, 2019)

c. Gateway: El Gateway es la puerta de entrada y medio de comunicación de una red a redes exteriores como es el caso del Internet. Este elemento permite que toda la información recopilada dentro de la red sea traducida de manera entendible para una determinada aplicación por lo general web. (Parreño Sañicela & Solís Goyes, 2019).

En otras palabras, un Gateway permite unir dos redes diferentes y debe estar creada al límite de la red para que de esta manera exista la gestión de la comunicación entre las redes.

2.2.4. Factores de diseño de una red de sensores inalámbricos

Para el desarrollo de una red de sensores inalámbricos se debe tomar en cuenta ciertos factores de diseño que se van a detallar a continuación: (Kocakulak & Butun, 2017).

- **Confiabilidad:** La confiabilidad de un nodo sensor es la capacidad del sensor para mantener sus funcionalidades de red sin interrupción. La falla del nodo del sensor es un tipo de interrupción que puede ocurrir debido a la escasez de energía, daño físico e interferencia ambiental.

- **Escalabilidad:** La escalabilidad se refiere a la adaptación que caracteriza a la red al ampliar su tamaño o configuración sin perder su eficiencia. Entonces, la densidad de la red afecta el área de cobertura de interés, confiabilidad y precisión.
- **Topología de red:** Dentro de la red la topología establece la conexión que va a existir entre sus nodos y a la vez influye en la latencia, la capacidad y la solidez de la misma. Sobre todo, la topología determina la complejidad del enrutamiento de datos que va a existir en la red.
- **Consumo de energía:** Los nodos sensores funcionan con baterías y, por lo tanto, las baterías van a influir en el tiempo de vida de cada nodo.
- **Medios de transmisión:** Existe dos tipos de medios para la transmisión de datos, el medio guiado que realiza el enlace entre los dispositivos a partir de un medio físico; y, los medios no guiados que se utiliza para las comunicaciones inalámbricas y se lo realiza a partir de antenas por ondas electromagnéticas a través del aire.
- **Dinámica de la red:** En muchas aplicaciones de red de sensores inalámbricos, la movilidad de los nodos sensores o la estación base es esencial. Esto ha generado muchos problemas desde la estabilidad del enrutamiento hasta la energía, el ancho de banda, entre otros.
- **Calidad de servicio:** Para algunas aplicaciones, la entrega de datos dentro de una latencia limitada y sugerida se considera crucial. La detección de datos después de cierta latencia limitada, posiblemente, sería inútil.
- **Cobertura:** Se define como la capacidad de los nodos sensores para cubrir el área física del entorno que tiene un alcance y una precisión limitados.
- **Conectividad:** La conectividad de red se define por una conexión permanente entre dos nodos diferentes a corta o larga distancia.

2.2.5. Ventajas y limitaciones de una red de sensores inalámbricos

El funcionamiento de una red de sensores inalámbricos viene sujeto a una serie de ventajas y limitaciones que se va a detallar a continuación: (Cevallos Lino, 2017)

- **Accesibilidad:** La accesibilidad se refiere a la facilidad de conectarse desde diferentes dispositivos móviles o desde nuestra portátil a una red inalámbrica, cuando se esté dentro del área de cobertura.
- **Movilidad:** Los dispositivos podrán acceder a la red desde cualquier ubicación siempre que se encuentren dentro del área de cobertura. Los usuarios pueden estar conectados a la red sin necesidad de quedarse en un lugar específicamente.
- **Productividad:** Con la comunicación inalámbrica se puede tener una conexión ya sea empresarial o doméstica.
- **Fácil configuración:** La instalación de una red de sensores inalámbricos puede ser más rápida y rentable debido a la inexistencia de cableado. Las redes inalámbricas son ideales para ubicaciones de difícil acceso.
- **Escalabilidad:** Según la aplicación y la demanda de una red inalámbrica se podría requerir la extensión de la red, para que más usuarios puedan conectarse a la mismo al mismo tiempo. Por lo general, las redes inalámbricas se pueden extender sin equipo adicional, por otro lado, una red física puede requerir cableado adicional.
- **Costos:** En lo que se refiere a costos en una red inalámbrica se puede disminuir los costos en el sentido que se elimina el cableado en las conexiones o expansiones. Por otro lado, la inversión inicial para una red inalámbrica es superior a la tradicional debido a que los equipos son más costosos.

Una vez detalladas las ventajas de una red inalámbrica a continuación se va a detallar las limitaciones de la misma: (Palacios Ortiz, Espinoza Villón, Diana, & Orozco Lara, Fausto, 2017)

- **Seguridad:** las redes inalámbricas son menos seguras que las redes físicas. Las redes inalámbricas al no poseer una conexión física para la transmisión de datos, solo se debe estar dentro del área de cobertura para poder acceder a los datos de la red.
- **Interferencias:** Las redes inalámbricas se desempeñan usando la banda 2,4 GHz que no necesita de licencia administrativa para su uso. Al utilizar esta banda de frecuencia varios equipos del mercado pueden hacer uso de la misma como teléfonos inalámbricos, microondas, tabletas, entre otros, por lo que la comunicación puede verse afectada por obstáculos o diferentes ondas electromagnéticas de otros dispositivos cercanos dentro de la red.

2.2.6. Aplicaciones

El uso de sensores inalámbricos ha ido ampliando su campo investigativo y operativo en diferentes entornos, sobre todo en entornos de difícil acceso y monitoreo para el hombre. Este tipo de redes de sensores contribuyen en diferentes áreas como la industria, agricultura, medicina entre otros, a continuación, se detallará algunas de las aplicaciones donde se han desarrollado las redes de sensores inalámbricos. (Vela, 2016).

- En el campo del medio ambiente las redes de sensores inalámbricos han aportado de manera significativa para la protección y preservación del mismo como es el caso de protección de bosque contra incendios, desbordamientos de ríos, áreas de actividad sísmica, control de emisiones tóxicas, control de especies, prevención de fuentes hídricas, entre otros.
- Las aplicaciones militares fueron la base para el desarrollo de esta tecnología, presentando como ventaja la implementación rápida sin la necesidad de una infraestructura, bajos costos, tolerancia a fallos, implementación en lugares que sean de difícil acceso.
- En la salud, donde la posibilidad de capturar señales fisiológicas y electromiografías, monitoreando inalámbricamente al paciente en tiempo real ha resultado ser un avance significativo en dicha área.

- El sector agrícola ha explotado fuertemente el uso de las redes de sensores inalámbricos, su principal objetivo es mejorar la productividad optimizando recursos, implementado sistemas inteligentes de control. A través de una red de sensores se pueden monitorear distintas variables que influyen en la producción de sembríos.
- La domótica se ha actualizado con la implementación de sistemas inalámbricos, permitiendo la automatización de casas de manera más simple, menos costosa. Instalar sistemas de control de iluminación, de ambientes, monitoreo de cámaras mediante sensores inalámbricos resulta ser productivo.

2.3. Comunicaciones Inalámbricas

El uso de las comunicaciones inalámbricas se ve reflejado en el avance tecnológico que ha tenido la sociedad, desde el uso de radios, televisoras hasta el surgimiento que ha tenido internet, de este modo las oportunidades que ofrecen las tecnologías de la comunicación constituyen una posibilidad para su desarrollo.

Se entiende por comunicaciones inalámbricas al intercambio de información entre diferentes dispositivos a corta o larga distancia utilizando el espectro electromagnético, (Prieto Blásquez, 2015) es decir se utiliza el aire como medio de transmisión, sin la necesidad de un medio físico. Estas son útiles también para facilitar el acceso a la información desde ubicaciones remotas.

A continuación, se detallará la clasificación, ventajas, limitaciones y estándares de comunicación inalámbricas.

2.3.1. Clasificación de las comunicaciones inalámbricas

Las redes inalámbricas se clasifican en cuatro grupos según su cobertura, cada uno con características específicas.

a. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Este tipo de redes ha llegado de forma gradual con el objetivo brindar soluciones pequeñas y eficientes en las comunicaciones inalámbricas, los dispositivos que buscan conectarse deben encontrarse a una corta distancia.

Estas redes se fundamentan en tecnologías como Bluetooth que es la más común, DECT, IrDa, NFC y Zigbee. (Prieto Blásquez, 2015)

b. Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Este tipo de redes fueron desarrolladas para proporcionar acceso inalámbrico a zonas con un rango de aproximadamente 100 metros y cubren un área similar a la red local de un hogar, una escuela, o entornos de oficina. Esto permite a los usuarios formar conexiones inalámbricas que se encuentren dentro del área de cobertura. Las redes WLAN se fundamentan en el estándar IEEE 802.11 y son comercializadas por la marca Wi-Fi con el fin de compartir el acceso a Internet. (Salazar, 2017).

Figura 2.5. Diagrama Red WLAN



Esquema de una WLAN en el hogar. Fuente (Salazar, 2017)

c. Redes inalámbricas de área Metropolitana (WMAN)

Las redes inalámbricas de área metropolitana WMAN conforman el tercer grupo de redes inalámbricas. Las WMAN se fundamentan en el estándar 802.16 del IEEE, a los que se los conoce como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

WiMAX a diferencia de Wi - Fi provee cobertura a mayores distancias, es una tecnología para la transmisión de información de manera inalámbrica con arquitectura punto a multipunto encaminada a proporcionar un alto nivel de operatividad con una alta velocidad de transmisión de datos. Se puede crear una

red de área metropolitana conectando varias redes inalámbricas LAN. (Salazar, 2017)

Figura 2.6. Diagrama Red WMAN

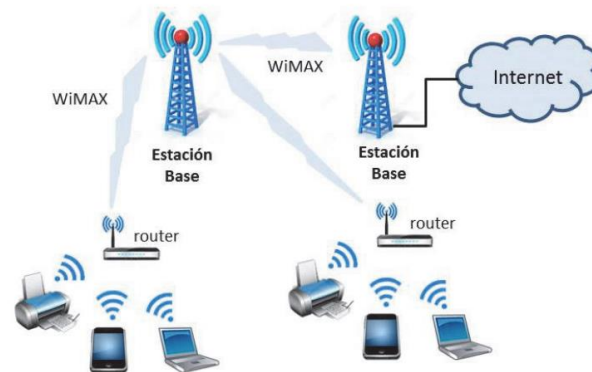


Diagrama de una red WiMAX. Fuente: (Salazar, 2017)

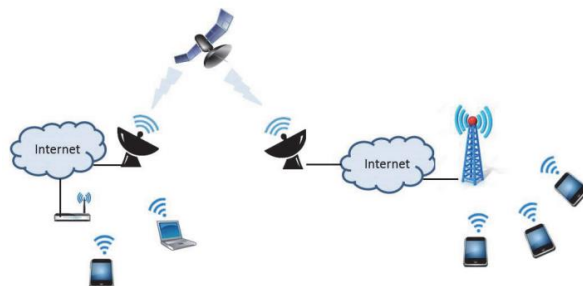
d. Redes inalámbricas de área amplia (WWAN)

Las redes WWAN admiten una conexión en zonas geográficamente distantes entre redes y usuarios. Se pueden diferenciar dos tipos:

- WWAN fijas, utilizan satélite o radioenlace.
- WWAN móviles, son utilizadas por compañías u otros servicios públicos en la transferencia de datos.

Las redes WWAN móviles (MWWAN) son el sistema de comunicación utilizado por las operadoras de telefonía móvil. (Prieto Blásquez, 2015)

Figura 2.7. Diagrama Red WWAN



Redes de telefonía móvil y de satélite. Fuente: (Salazar, 2017)

2.3.2. Estándares de las comunicaciones inalámbricas

La comunicación de datos de modo inalámbrico es algo muy utilizado en la actualidad. Dado a la amplia variedad de aplicaciones que pueden hacer uso de este tipo de comunicación se cuenta con una gran variedad de protocolos con diferentes prestaciones a disposición de los usuarios para proporcionar el intercambio de datos entre dispositivos que se rijan a diferentes normas. A continuación, se presentan una serie de estándares aceptados y utilizados en las redes de sensores inalámbricos. (Fernández Mora, Luis, Garita González, Gómez Cambroner, Pérez Arroyo, & Solís Salazar, 2016)

2.3.2.1. Tecnología Wifi

La tecnología Wifi es una de las tecnologías más conocidas y usadas en la actualidad por su gran variedad de módulos y dispositivos existentes en el mercado. Dentro de sus principales ventajas se encuentra su capacidad para la transferencia de datos, se puede enviar audio, video y otros archivos de gran tamaño. Mientras que una de las desventajas de esta tecnología es el alcance de cobertura, en el caso de una red de sensores inalámbricos su rango de cobertura no puede exceder los cien metros. (Sabas, 2018).

La velocidad de transferencia en una red WI-FI depende del ancho de banda empleado y de la distancia existente entre los dispositivos utilizados. (Cárdenas Villavicencio, Molina Ríos, Morocho Román, Novillo Vicuña, & Moreno Sotomayor, 2017)

2.3.2.2. Zigbee

ZigBee es una tecnología desarrollada por la ZigBee Alliance⁷ fundamentado en el estándar para comunicaciones inalámbricas de área personal IEEE 802.15.4.

Las características principales de esta tecnología al acoger el estándar IEEE 802.15.4 son las que se mencionan a continuación: (Instituto Nacional de Ciberseguridad, 2019)

- La tasa de transmisión de datos va a depender de la frecuencia y oscila entre los 20 kbit/s hasta 250 kbit/s.
- Uso de las frecuencias en banda libre: 2.4 GHz, 915MHz y 868 MHz.
- Corto alcance.

Zigbee es una alternativa ideal para varios tipos de aplicaciones como una red de sensores inalámbrico, así como la monitorización del consumo energético, recopilación de datos de y sistemas de automatización. (Albornoz & Soto, 2018)

2.3.2.3. *Bluetooth*

El estándar fue diseñado para ofrecer la posibilidad de implantar de forma sencilla pequeñas redes inalámbricas y proporcionar la sincronización de información entre distintos dispositivos. (Cano García, 2016).

A continuación se detalla las características más relevantes de esta tecnología: (Santamaría Velázquez, 2015)

- Espectro: Banda ISM de 2.4 GHz
- Velocidad de datos total: 1 Mbps
- Alcance Hasta 10 metros
- Direccionamiento: Cada dispositivo con una dirección MAC de 48 bits

2.3.2.4. *Tecnología LoRa*

El nombre LoRa proviene del acrónimo Long Range que en español significa de largo alcance, adecuado para su funcionamiento.

Lora es la capa física del protocolo LoRaWAN, que permite una comunicación inalámbrica con bajo consumo y largo alcance, lo que la hace ideal para proyectos de la Internet de las cosas. (Bertoletti, Paiotti, & Leca, 2019)

Una sola puerta de enlace o Gateway puede cubrir varios kilómetros cuadrados. El rango depende en gran medida del entorno u obstrucciones en una ubicación determinada, pero LoRa tiene un presupuesto de enlace mayor que cualquier otra tecnología de comunicación estandarizada. (LoRa Alliance, 2015)

LoRa permite el tráfico de datos de tres maneras distintas: (Bertoletti, Paiotti, & Leca, 2019)

- Simplex: Se trata de una comunicación unidireccional, donde un radio en la red transmite datos y los otros N radios reciben los datos.
- Half dúplex: Los radios de la red pueden transmitir y recibir datos, pero nunca de manera simultánea.
- Full dúplex: Los radios de la red pueden transmitir y recibir datos, de manera aleatoria o simultánea.

a. Trama física de LoRa

La trama de LoRa como se observa en la Tabla 2.3 comienza con un preámbulo de sincronización en el que se delimita los parámetros de modulación del paquete de forma sencilla e individualizada. Lo que permite indicar el esquema de transmisión para cada paquete en función de la distancia al Gateway.

La trama finaliza con un byte de sincronización que permite identificar las diferentes redes LoRa que están transmitiendo en una misma banda de frecuencia, esto hace posible que un dispositivo solo escuche las emisiones que tienen su mismo byte emitidas en la banda, esto permite la concurrencia de varias redes LoRa en un mínimo espacio. (Ordóñez Monfort, 2017).

El tamaño de carga útil máximo es de 255 bytes, el mismo está definido por un solo byte en la cabecera de la trama, suficiente para información de estados de dispositivos, de sensores, entre otros. (Ordóñez Monfort, 2017).

Tabla 2.3. Trama física de LoRa

PREÁMBULO	FHDR	PHDR_CRC	PHYPAYLOAD	CRC
------------------	-------------	-----------------	-------------------	------------

Formato trama Física de LoRa. Fuente: (Ordóñez Monfort, 2017)

b. Arquitectura de la red LoRa

La arquitectura de red LoRa consiste en una topología tipo estrella, con una o más pasarelas que encaminan los mensajes de los nodos clientes hacia un servidor central de red. (Candia & Varela, 2017). A continuación se detallará los elementos que conforman una red LoRa: (Ordóñez Monfort, 2017)

- **Nodos clientes:** Son los componentes que permiten conectar dispositivos ya sean sensores o actuadores a la red LoRa, pueden recoger información del entorno y transmitirla al Gateway.
- **Gateway:** Estaciones base en una red LoRa que reciben la información transmitidos por los clientes y las reenvían a los servidores de red.
- **Servidores de red:** Equipos servidores que se encargan de la recepción y procesamiento de la información que proviene del Gateway.

Este tipo de arquitectura resulta ser un diseño muy sencillo y eficiente de la red y de sus componentes.

c. Canales y radio de frecuencia

En términos de frecuencias de funcionamiento, LoRa utiliza frecuencias por debajo de 1 GHz, en bandas dedicadas según las regiones del mundo como se menciona a continuación: (Bertoletti, Paiotti, & Leca, 2019)

- Europa: Banda ISM de 863- 870 MHz con 8 canales con un ancho de banda de 0.3 MHz por canal.
- América: Banda ISM de 902-928 MHz, con 13 canales con un ancho de banda de 2.16 MHz por canal.
- Asia: Banda de 433 MHz. (Pérez García, 2017)

d. Modulación LoRa

LoRa es una técnica de modulación de la capa física desarrollada por Semtech, fundada en Chirp Spread Spectrum (CSS) con señales robustas ante interferencias y ruidos. Se conoce por medio de hojas de datos que la modulación usa tres parámetros distintos que influyen principalmente a la robustez y la velocidad de bits: el factor de dispersión (SF), el ancho de banda (BW) y la tasa de codificación (CR). (Peralta Santos, 2018).

- **Spreading Factor (SF):** Establece la cantidad de datos repetidos que se envían durante la transmisión. La velocidad se encuentra relacionada con el factor de dispersión de manera directa, de manera que si el valor de este incrementa se logrará un máximo alcance con baja velocidad. (Pérez García, 2017).
- **Ancho de banda (BW):** Conciérne al rango de frecuencias utilizado en la transmisión. El ancho de banda está relacionado con la velocidad y la sensibilidad de la red, a mayor ancho de banda mayor velocidad de datos, pero a la vez menor sensibilidad debida del aumento de ruido. (Dólera, 2019)
- **Tasa de codificación (CR):** Relación de corrección de errores hacia adelante que ofrece protección contra interferencias. La tasa de codificación está relacionada con la velocidad, una mayor tasa de codificación brinda mayor protección, pero menor velocidad de datos. (Dólera, 2019).

e. LPWAN

LPWAN (Low- Power Wide-Area Network) es un tipo de red de área amplia de tecnología inalámbrica, desarrollada para aplicaciones del Internet de las cosas.

LoRa es una tecnología de modulación de radio de espectro expandido (CSS) patentada para LPWAN. (Aprendiendo Arduino, 2018)

LPWAN ofrece un bajo consumo de energía, con una duración de batería de hasta diez años, un rango de cobertura entre los 5 a 40 km y un coste por dispositivo muy reducido. Dentro de esta tecnología existen dos que destacan entre las demás, LoRaWAN producido por Semtech Corporation y Sigfox una empresa de Telecomunicaciones. Ambas se diferencian en la forma en la que hacen la modulación, mientras LoRaWAN usa LoRa (CSS), Sigfox utiliza una técnica llamada Banda Ultra Estrecha. (Reyes Díez, 2017). A continuación, en la Tabla 2.4 se detallan las diferencias entre las redes LAN, LPWAN y Cellular Network:

Tabla 2.4. Tabla comparativa de las redes de comunicación inalámbrica

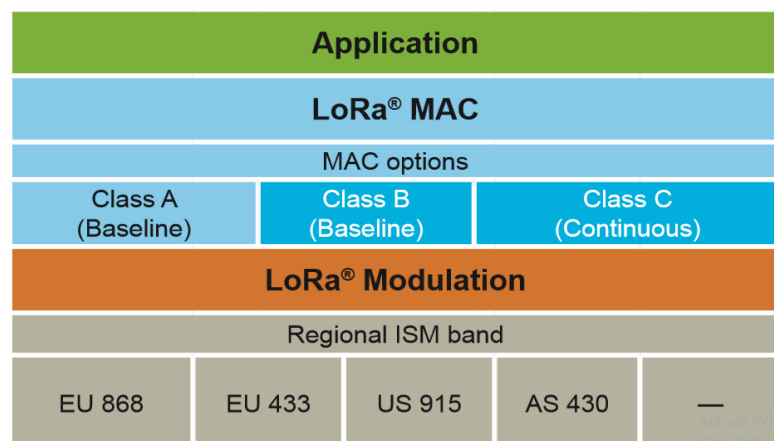
	Local Area Network (LAN)	Low Power Wide Area (LPWAN)	Cellular Network
Aplicación	Rango corto de comunicación	Internet de las cosas	Tradicional Machine to Machine
Ventaja	Normas bien establecidas en la construcción	Bajo consumo de energía, bajos costos, posicionamiento	Alta cobertura existente, alta velocidad de datos
Desventaja	Tiempo de la batería, Costo de red y dependencias	Estándares emergentes	Costos
Tecnología	Bluetooth, Zigbee, Wifi	LoRa	GSM, 3G, 4G

Where does LPWAN fit? Fuente: (LoRa Alliance, 2015).

f. LoraWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación que utiliza como capa física tecnología LoRa. Administra y comunica dispositivos LoRa creando conexiones inalámbricas seguras, móviles y de bajo coste. (Merino Polidura, 2019)

Figura 2.8. Protocolo LoRaWAN



Whats is LoRaWAN? Fuente: (LoRa Alliance, 2015)

En la Figura 2.8 se puede observar que LoRa ocupa la capa física poniendo énfasis a las modulaciones en radiofrecuencia necesarias para establecer comunicaciones inalámbricas de largo alcance, mientras que LoRaWAN se encuentra una capa por encima de LoRa, encargada de definir el protocolo de comunicación y arquitectura de la red. (Merino Polidura, 2019)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

3.1. Introducción

El objetivo del proyecto es crear una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa, el presente capítulo describe las configuraciones del hardware y software que se llevaron a cabo en los nodos clientes y Gateway para el estudio de la transmisión inalámbrica utilizando dicha tecnología.

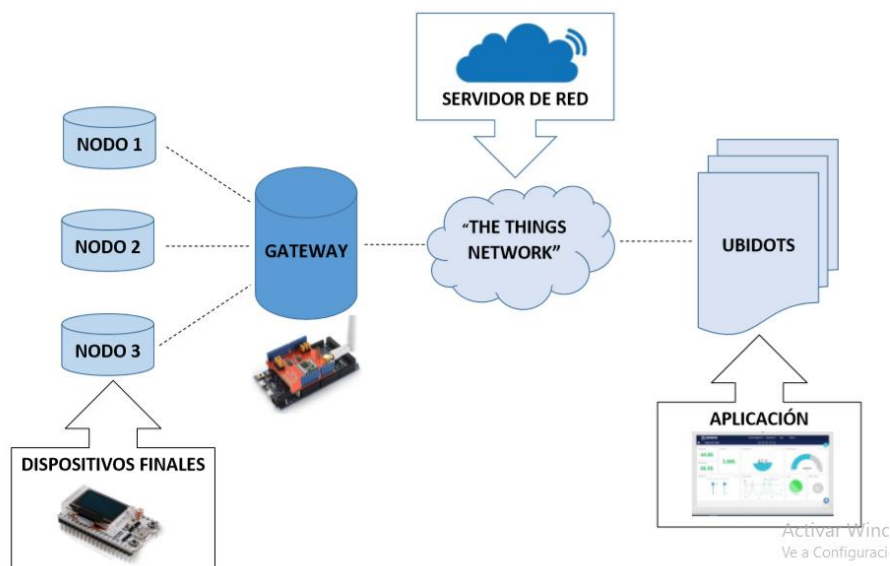
El proyecto consiste en simular una planta clasificadora de materiales, donde intervienen tres nodos clientes y un Gateway que se encargaran de intercambiar información inalámbricamente mediante LoRa, en el proceso se va a detectar dos tipos de materiales, metales y no metales, de igual manera se va a despreciar las piezas que no cumplan con el tamaño establecido en el proceso, para ello se tendrá varios sensores y actuadores que interactuaran entre sí para cumplir una función específica, más adelante se detallará los componentes que se utilizaron en el proceso.

3.2. Estructura de la red

La red va a estar conformada por dispositivos finales (nodos) que se van a encargar de la recolección de datos del entorno a través de sensores y emisión de señales de control mediante actuadores, la comunicación entre los nodos y el Gateway se lo realiza a través de tecnología LoRa, el mismo se comunica mediante internet con el servidor de red (la plataforma “The Things Network”) la cual ha conformado una sociedad abierta de Gateways y nodos que admite la conectividad de diferentes dispositivos IoT a nivel mundial de forma gratuita.

La información del servidor de red es recopilada y decodificada para posteriormente ser enviada a la aplicación final que se desarrolló en “Ubidots” para mostrar los datos al usuario final de forma clara y sencilla. En la Figura 3.9 se detalla de manera gráfica la estructura de la red.

Figura 3.9. Estructura de la red



Elaborado por: (Gabriela Ortiz)

3.3. Registro de los dispositivos en la plataforma “The Things Network”

La plataforma “The Things Network” será el servidor en la red de sensores e interactuará con el Gateway para recibir y decodificar los datos que este le envía de los dispositivos finales, para su registro fue necesario definir parámetros que la plataforma solicitó, mismos que se pueden observar en la Figura 3.10 y se detallarán a continuación los de mayor relevancia:

- **Gateway ID:** Identificador único del Gateway que puede tomar cualquier valor.
- **Description:** Es una breve descripción del Gateway que se va a ser registrado.
- **Frequency Plan:** Corresponde al plan de frecuencias en las que operará el Gateway.
- **Router:** Este parámetro debe contener la dirección del servidor del Gateway al que se conecta; en este caso se conectó el Gateway a ttn-router-eu.

- **Localización:** Determina las coordenadas del Gateway que se va a registrar. (Merino Polidura, 2019).

Figura 3.10. Registro del Gateway en la plataforma "The Things Network"

Gateway ID
A unique, human-readable identifier for your gateway. It can be anything so be creative!

☐ **I'm using the legacy packet forwarder**
Select this if you are using the legacy [Semtech packet forwarder](#).

Description
A human-readable description of the gateway

Frequency Plan
The [frequency plan](#) this gateway will use

no selection

Elaborado por: (Gabriela Ortiz)

Una vez registrado el Gateway se creó una aplicación en su destino para añadir los dispositivos finales que actuarán como clientes en la red de sensores inalámbricos. En este caso se registraron tres dispositivos finales como clientes de la red. En la Figura 3.11 se observa los parámetros que se definieron en la plataforma para el registro de los mismos.

Figura 3.11. Registro del cliente en la plataforma “The Things Network”

REGISTER DEVICE [bulk import devices](#)

Device ID
This is the unique identifier for the device in this app. The device ID will be immutable.

Device EUI
The device EUI is the unique identifier for this device on the network. You can change the EUI later.

App Key
The App Key will be used to secure the communication between you device and the network.

App EUI
70 B3 D5 7E D0 02 55 84

Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.4. Registro en la plataforma “Ubidots” - Aplicación

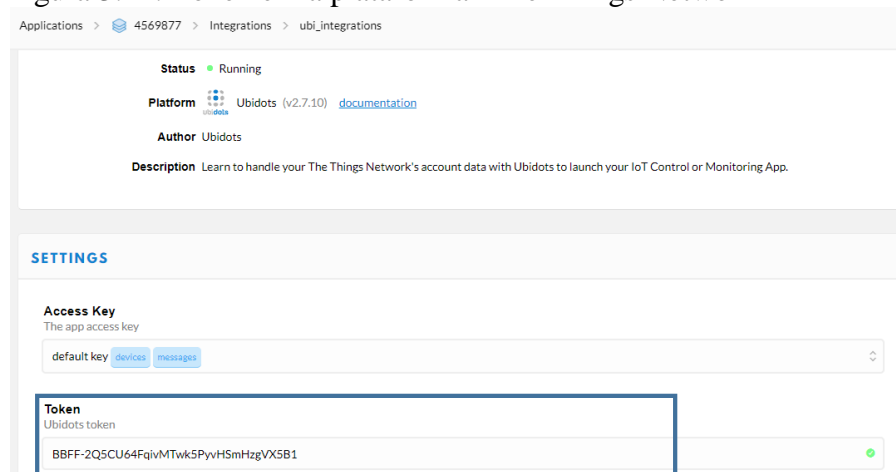
“Ubidots” es una herramienta de recopilación, análisis y visualización de datos. Trabaja con Dashboards donde se pueden analizar y hacer una gestión completa con los datos de

manera interactiva. (Manotas Campos & Martinez Marin, 2018). En la plataforma “Ubidots” se desarrolló un HMI para la red de sensores inalámbricos con el fin de que el usuario final pueda monitorear los datos de manera amigable y sencilla.

La forma en que los datos son intercambiados entre las dos plataformas es mediante una clave API que proporciona “Ubidots”, con esta clave única “Ubidots” admite la recepción de los datos de cualquier plataforma en este caso “The Things Network”. (Gandomi, Patan, Dhingra, Babu, & Daneshmand, 2019).

En el recuadro de la Figura 3.12 se encuentra el Token, la misma contiene la clave API que fue añadida a la plataforma “The Things Network” para intercambiar información con “Ubidots”.

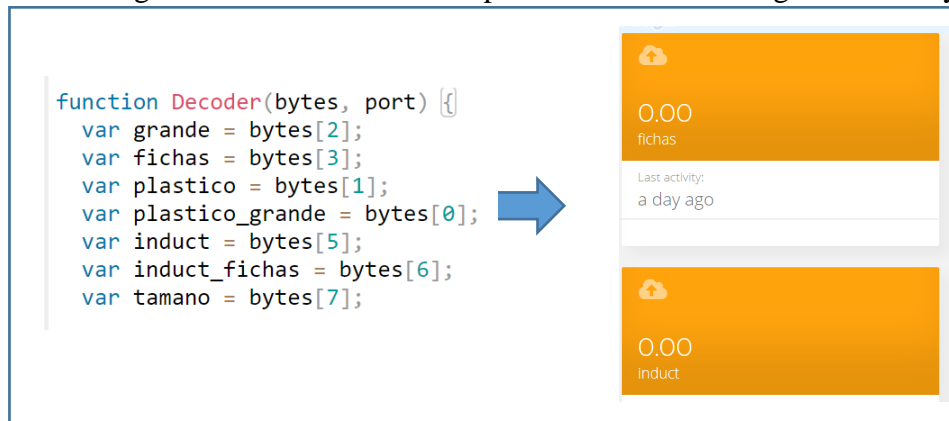
Figura 3.12. Token en la plataforma "The Things Network"



Elaborado por: Gabriela Ortiz

Al tener enlazadas las dos plataformas, las variables creadas en la plataforma “The Things Network” van a ser visualizadas automáticamente en “Ubidots” como se observa en la Figura 3.13.

Figura 3.13. Variables en las plataformas "The Things Network" y



Elaborado por: Gabriela Ortiz






3.5. Nodos Clientes

La red consta de tres nodos clientes que se distribuyeron de la siguiente manera:

- a. Nodo cliente 1:** A este nodo van a estar conectados un sensor de presencia que va a detectar la pieza para su expulsión hacia la banda transportadora mediante un pistón, de igual manera se conectó un sensor Sharp que va a identificar el tamaño de la pieza.
- b. Nodo cliente 2:** Este nodo va a constar de un sensor inductivo que va a determinar el material de la pieza, en el caso de que la pieza sea metálica un servo motor actuará como paleta clasificadora para desviar la pieza de la banda. Por ultimo este nodo va a constar de un sensor de presencia, el mismo que confirmará que la pieza llego a su destino.
- c. Nodo cliente 3:** A este nodo sensor van a estar conectados dos sensores de presencia que permitirá definir las condiciones para clasificar las piezas según el tamaño y material, de la misma manera que el nodo dos, este va a constar de un servo motor que desviara la pieza de plástico de mayor tamaño a su respectiva rampa de clasificación, por ultimo dos sensores de presencia verificarán que las piezas clasificadas hayan llegado a su destino.

En la Tabla 3.5 se detallará las especificaciones de los sensores y actuadores utilizados para el proceso:

Tabla 3.5. Características de los sensores y actuadores

SENSORES	CARACTERÍSTICAS
<p>Sensor de presencia IR FC – 51</p> 	<p>Distancia de detección: 2 – 30 cm Ángulo de detección: 35° Voltaje de funcionamiento: 3.3 – 5 V Tipo de salida: Digital</p>
<p>Sensor Sharp 2Y0A02</p> 	<p>Voltaje de funcionamiento: 4.5 – 5.5 V Tipo de salida: Análoga</p>
<p>Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX</p> 	<p>Rango de detección: 4mm +/-10% Voltaje de operación: 6 – 36 V Tipo de salida: NPN, Normalmente abierto</p>
MOTORES	CARACTERÍSTICAS
<p>Servo Motor MG996R</p> 	<p>Par de torsión: 10 kg Torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V) Voltaje de operación: 4.8 V – 7.2 V Ángulo de rotación: 120°</p>
<p>Motor Reductor DC3V-6V</p> 	<p>Voltaje de alimentación: 3 – 6 V Número de ejes: 2 Revoluciones: 200 RPM (6 V); 150 RPM (3V)</p>

Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.5.1. Hardware Nodo Cliente

Para la transmisión LoRa en los nodos clientes se utilizó el microcontrolador ESP 32 diseñado por la compañía china Espressif. Integra en un chip un procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo de 32bits a 160Mhz, conectividad WiFi y Bluetooth. (Llamas, 2018). En la Tabla 3.6 se especifican las peculiaridades más importantes del dispositivo ESP 32.

Tabla 3.6. Características ESP 32

CARACTERÍSTICAS ESP 32	
Microprocesador	ESP (MCU dual-core de 32 bits + núcleo ULP)
LoRa Chip	<ul style="list-style-type: none">- SX1276 (versión 868 y 915)- SX1278 (versión 433 y 470)
Bandas LoRa	EU 433; EU 863 870; US 902 928; para bandas opcionales
Máxima potencia de salida LoRa	18 dB ± 2 dB
Recursos del Hardware	<ul style="list-style-type: none">- UART x 3; SPI x 2; I2C x 2; I2S x 1- 12 bits ADC- 8 bits DAC- 29 GPIO
Tipo de batería	Batería de litio 3.7 V
Display	<ul style="list-style-type: none">- Tamaño: 0.96"- Resolución: 128*64 px
Wifi	<ul style="list-style-type: none">- Integrado- 802.11 b/g/n/e/i
Bluetooth	Bluetooth 4.2 (BLE)
LoRa	IPEX reservada

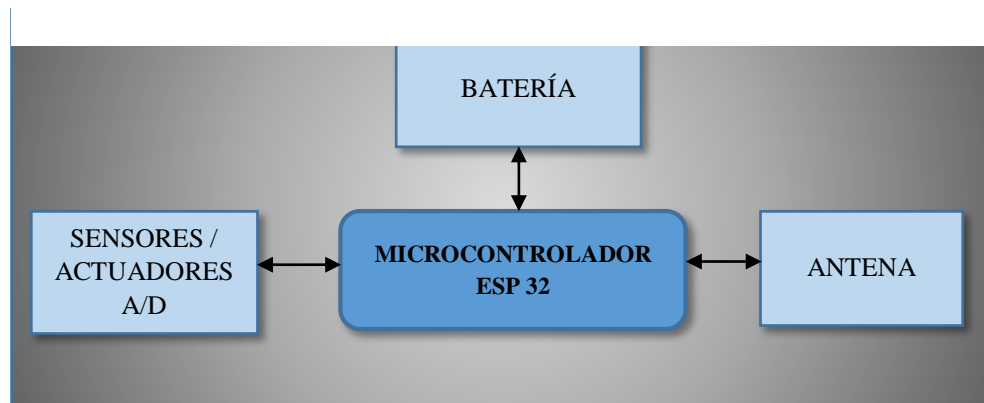
Especificaciones Técnicas, Fuente: (Heltec Automation, 2018). Elaborado por: Gabriela Ortiz

Como se observa en la Tabla 3.6 para el módulo ESP 32 existen 2 chips que admite comunicación inalámbrica por LoRa, en este caso se utilizó el chip SX1276, que trabaja con las frecuencias de 868 y 915 MHz, en nuestro caso se trabajó con la frecuencia de 915 MHz.

Al nodo cliente lo conforma principalmente el microcontrolador detallado anteriormente, una antena, sensores, actuadores y la unidad de alimentación, en la Figura 3.14 se observa la estructura del nodo cliente:

- Microcontrolador: Encargado de procesar la información que recibe
- Antena: Encargada de la transmisión de datos
- Sensores y actuadores: Permiten recoger datos del entorno y el envío de señales al proceso respectivamente
- La unidad de alimentación: Alimenta el nodo y sus componentes

Figura 3.14. Estructura Nodo Cliente



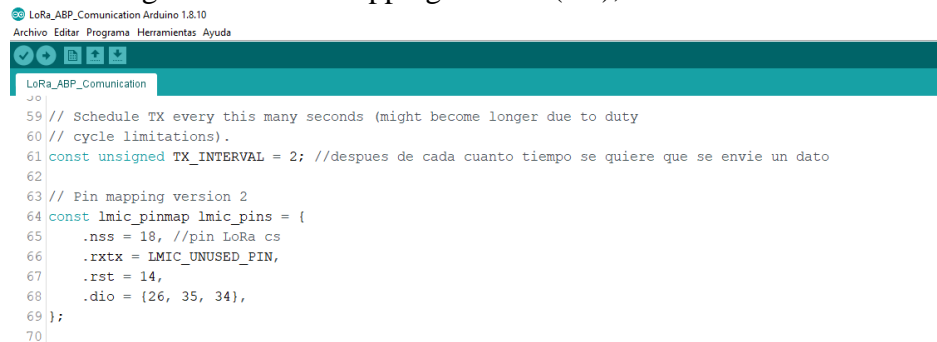
Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.5.2. Software Nodo Cliente

Para programar los nodos clientes se utilizó el software Arduino, programación basada en lenguaje C. La librería principal que se utilizó en el programa para la transmisión LoRa es la librería LMIC que admite las bandas EU-868 y US-915 para módulos compatibles.

En el programa debe constar la frecuencia a la que los clientes van a transmitir los datos, la estructura de mapeo para la placa que se utilizó, para la versión dos es la siguiente mostrada en la Figura 3.15.

Figura 3.15. Pin mapping ESP 32 (V2), Arduino



```
LoRa_ABP_Communication Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

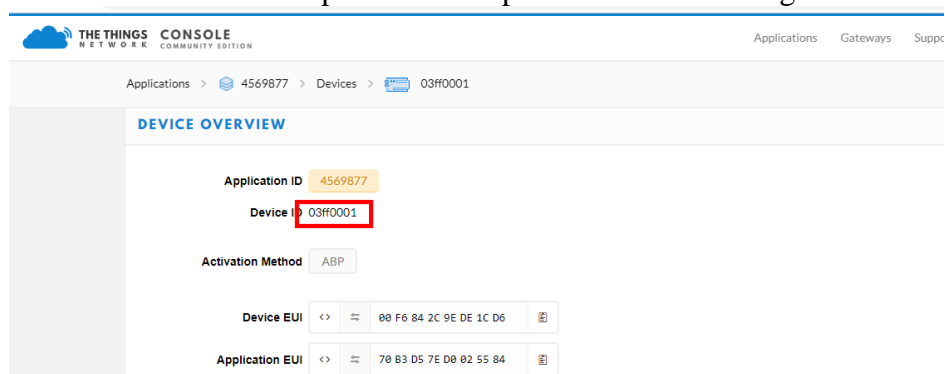
LoRa_ABP_Communication
59 // Schedule TX every this many seconds (might become longer due to duty
60 // cycle limitations).
61 const unsigned TX_INTERVAL = 2; //despues de cada cuanto tiempo se quiere que se envie un dato
62
63 // Pin mapping version 2
64 const lmic_pinmap lmic_pins = {
65   .nss = 18, //pin LoRa cs
66   .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
67   .rst = 14,
68   .dio = {26, 35, 34},
69 };
70
```

Elaborado por: Gabriela Ortiz

Con estos parámetros establecidos en el programa el dispositivo podrá transmitir mensajes inalámbricos por LoRa, sin embargo, para que los datos lleguen al servidor de la red (“The Things Network”) el programa debe contener ciertos parámetros que la plataforma provee al momento de registrar un dispositivo en la misma.

En el programa de cada cliente principalmente debe constar el identificador del dispositivo que ha sido registrado en la plataforma, en el recuadro rojo de la Figura 3.16 se puede observar el identificador que se encuentra en código hexadecimal, de la misma manera debe estar definido en el programa para que este pueda enlazarse a la plataforma y transmitir información.

Figura 3.16. Identificador del dispositivo en la plataforma "The Things Network"



Elaborado por: Gabriela Ortiz

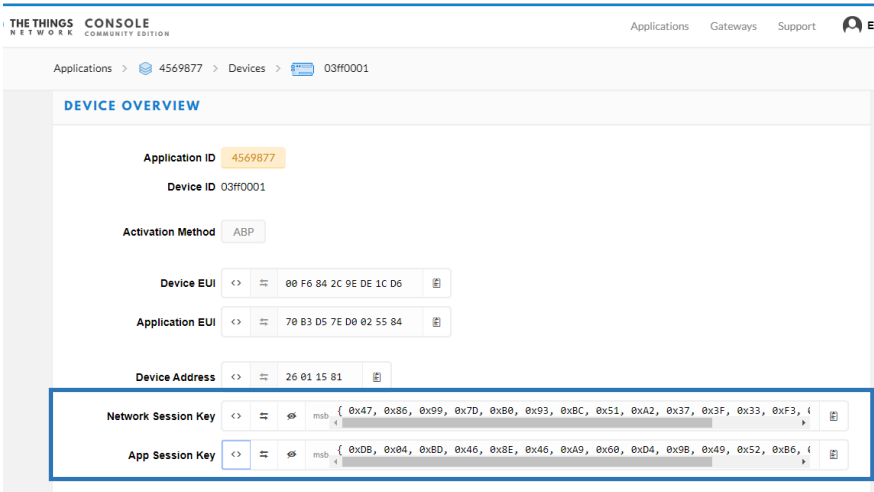
Otro aspecto importante que debe constar en el programa es la seguridad. The Things Network ofrece dos tipos de seguridad OTAA (Over The Air Activation) y ABP (Activation By Personalisation).

En el caso de OTAA, el dispositivo recibe un DevEUI, una AppEUI y una AppKey, para activarse, el dispositivo envía una solicitud de combinación y utiliza la respuesta para derivar las claves de sesión y aplicación, el dispositivo puede almacenar esas claves y continuar usándolas para comunicarse. Si se pierden o la red decide expirarlos, el dispositivo debe unirse para volver a generar nuevas claves. (Newie Ventures, 2018).

ABP (Activation By Personalisation) es una de las opciones de seguridad que ofrece “The Things Network” para los clientes, y para su funcionamiento necesita las claves de sesión NwkSKey y aplicación AppSKey que la misma plataforma provee, estas claves deben estar presentes en el programa del dispositivo. Cuando el dispositivo se comunica, lo hace usando estas claves de sesión sin tener que usar ningún procedimiento de unión a la red. (Ortis García, 2018)

Para la red de sensores inalámbricos se utilizó la configuración ABP, en el rectángulo azul de la Figura 3.17 se observan las claves de sesión y aplicación NwkSKey y AppSKey en código hexadecimal, las mismas deben ser añadidas de la misma forma a la programación de cada dispositivo registrado en la plataforma.

Figura 3.17. Parámetros provistos por la plataforma "The Things Network" a los dispositivos



Elaborador por: Gabriela Ortiz

3.6. Hardware Gateway LoRa

Para la construcción del Gateway se utilizó el dispositivo RaspberryPi 3 modelo B+ junto con el módulo de transmisión Dragino LoRa/GPS HAT que admite comunicación inalámbrica por LoRa y opera en las bandas 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz, en nuestro caso se utilizó la frecuencia de 915 MHz.

El Gateway actúa como puerta de enlace entre el servidor de red y los nodos clientes para la transmisión de datos entre ellos.

- Raspberry Pi 3 Modelo B+

La tarjeta Raspberry Pi 3 Modelo B+ soporta WiFi y Gigabit Ethernet. Estas mejoras, frente a otros modelos, proporcionan mejores prestaciones a bajo costo. (Pastor, 2018). A continuación, en la Tabla 3.7 se detallan las características más relevantes del dispositivo.

Tabla 3.7. Características Raspberry Pi 3 modelo B +

Parámetro	Especificaciones
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
Frecuencia de Reloj	1,4 GHz
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad Inalámbrica	2.4 GHz/5GHz IEEE 802.11 b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE
Conectividad de Red	Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps de máximo teórico)

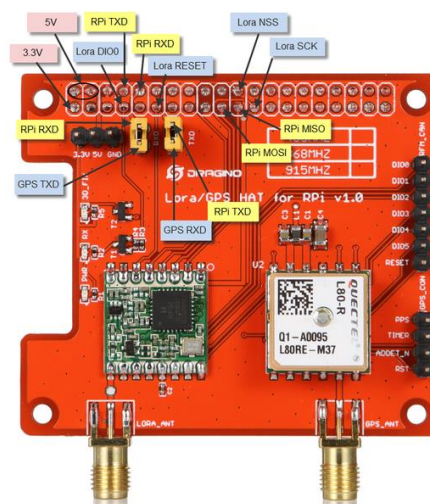
Especificaciones. Fuente (Pastor, 2018)

- Módulo de transmisión Dragino LoRa/GPS HAT

Dragino LoRa / GPS HAT es un módulo de expansión para la Raspberry Pi, que admite comunicación por LoRa, cuenta con un módem de largo alcance que proporciona comunicación de espectro extendido de rango ultra largo e inmunidad de alta interferencia mientras minimiza el consumo de corriente. (Dragino, 2019).

En la Figura 3.18 se encuentra el diagrama de pines del módulo Dragino, donde se observa varios pines que cumplen la funcionalidad de comunicación inalámbrica LoRa, este módulo debe ser acoplado a la Raspberry.

Figura 3.18. Módulo Dragino LoRa / GPS_HAT



Módulo Dragino. Fuente: (Dragino, 2019)

En la Tabla 3.8 se detallan las especificaciones del Módulo Dragino LoRa / GPS_HAT.

Tabla 3.8. Especificaciones Dragino LoRa / GPS_HAT

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
Bandas de Frecuencia	868 MHz, 433 MHz, 915 MHz
Modulación	FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa, OOK
Velocidad de transmisión	Configurable hasta 300 kbps
Voltaje de E /S	2.7V ~ 2.9V.
Precisión de tiempo	1 PPS a 10 NS

Fuente: (Dragino, 2019)

- Software Gateway LoRa

Para poner en funcionamiento a la RaspberryPi se utilizó el sistema operativo Raspbian, el mismo que puede ser descargado de manera gratuita del internet y ejecutado en la Raspberry con la ayuda de una tarjeta Micro SD, de la misma

manera se utilizó la librería Single Channel Gateway para la comunicación inalámbrica LoRa.

El programa contiene ciertos parámetros que deben ser establecidos para el enlace entre el Gateway con la plataforma “The Things Network”, como los más principales se tiene: la dirección del servidor del Gateway al que se conecta, la frecuencia con la que se va a transmitir los datos, la localización del Gateway, en la Figura 3.19 se observa los parámetros modificados en el programa:

Figura 3.19. Programa Gateway - Raspberry Pi

```
...../
// SX1272 - Raspberry connections
int ssPin = 6;
int dio0 = 7;
int RST = 0;

// Set spreading factor (SF7 - SF12)
sf_t sf = SF7;

// Set center frequency
uint32_t freq = 915000000; // in Mhz! (868.1)

// Set location
float lat=-0.182296;
float lon=-78.5038021;
int alt=0;

/* Informal status fields */
static char platform[24] = "Single Channel Gateway"; /* platform definition */
static char email[40] = ""; /* used for contact email */
static char description[64] = ""; /* used for free form description */

// define servers
// TODO: use host names and dns
#define SERVER1 "13.66.213.36" // The Things Network: croft.thethings.girovito.nl
// #define SERVER2 "192.168.1.10" // local
#define PORT 1700 // The port on which to send data

// *****
// *****
```

Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.7. Topología a implementar

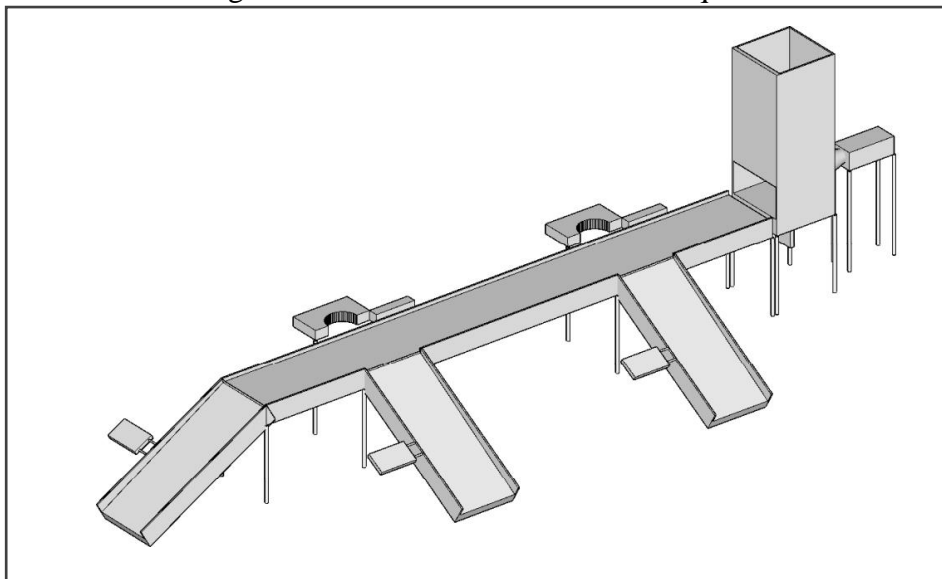
Para la red de sensores inalámbricos se utilizaron tres nodos clientes que se encargarán de la recolección de datos y emisión de señales de control respectivamente y se comunicarán por LoRa con el Gateway. Se optó por una topología tipo estrella para la distribución de los nodos.

3.8. Planos de la maqueta

3.8.1. Vista Isométrica

En la Figura 3.20 se presenta la vista isométrica de la planta clasificadora que consta de un módulo que almacena las piezas para su suministro, un sensor de presencia que detectara la pieza para que un pistón la empuje hacia la banda transportadora. Las piezas van a ser clasificadas con la ayuda de unas paletas que están acopladas a dos servomotores y van a desviar las piezas de la banda para que lleguen a su respectiva rampa de clasificación según sus características; se van a clasificar dos tipos de materiales y tamaños; finalmente tres sensores de presencia verificaran que las piezas hayan llegado a su destino.

Figura 3.20. Vista Isométrica de la maqueta

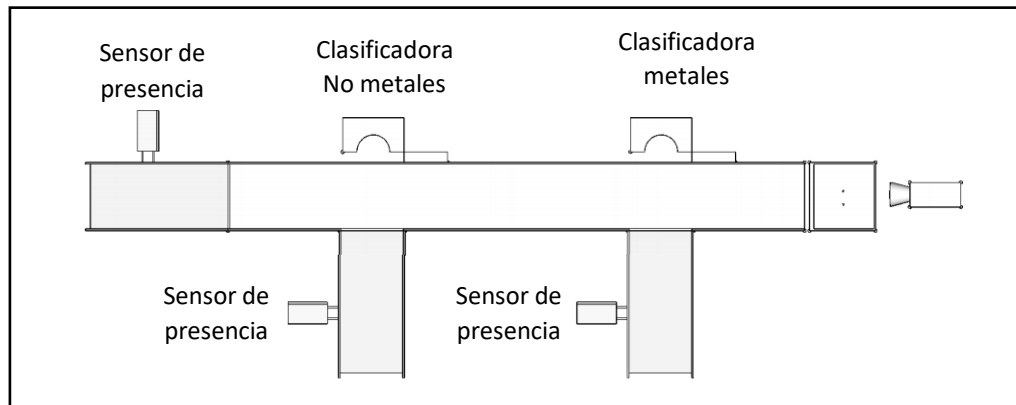


Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.8.2. Vista Superior

En la Figura 3.21 está representada la maqueta desde un punto de vista superior.

Figura 3.21. Vista superior de la Maqueta



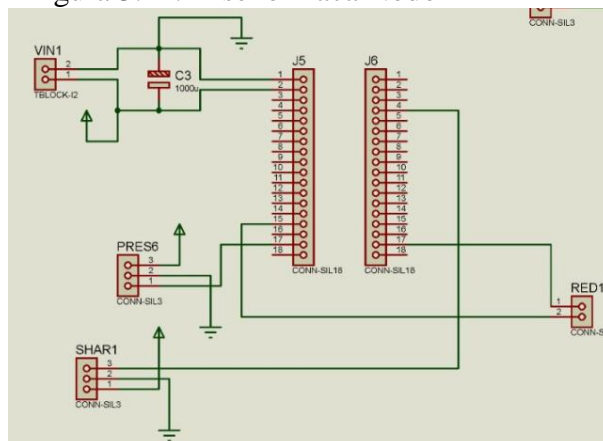
Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.9. Diseños de las placas

3.9.1. Nodo 1

La Figura 3.22 consta del diseño de la placa para el Nodo 1, como su principal componente se encuentra el microcontrolador ESP 32, un capacitor para evitar interferencias en el circuito, un sensor análogo, un sensor digital, y un motor reductor.

Figura 3.22. Diseño Placa Nodo 1

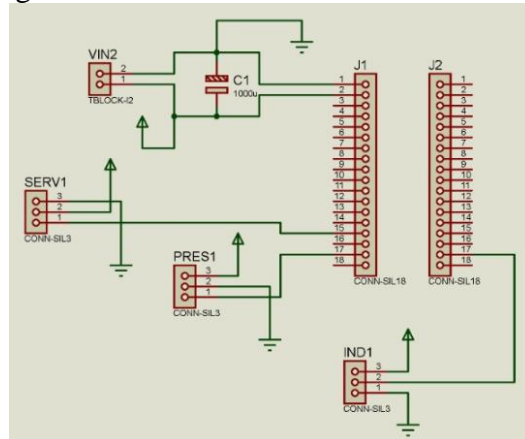


Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.9.2. Nodo 2

La Figura 3.23 consta del diseño de la placa para el Nodo 2, como su principal componente se encuentra el microcontrolador ESP 32, un capacitor para evitar interferencias en el circuito, un servomotor, un sensor de presencia y un sensor inductivo.

Figura 3.23. Diseño Placa Nodo 2

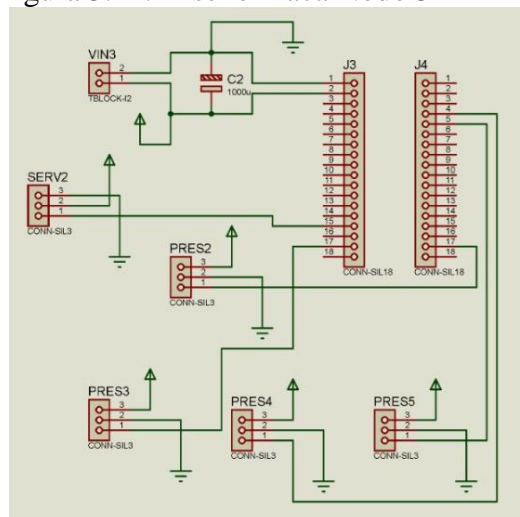


Elaborado por: Gabriela Ortiz

3.9.3. Nodo 3

La Figura 3.24 consta del diseño de la placa para el Nodo 3, como su principal componente se encuentra el microcontrolador ESP 32, un capacitor para evitar interferencias en el circuito, un servomotor y cuatro sensores de presencia.

Figura 3.24. Diseño Placa Nodo 3



Elaborado por: Gabriela Ortiz

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Introducción

En el presente capítulo se plantea los resultados adquiridos de las pruebas realizadas de la transmisión de datos con el fin de observar el comportamiento de la red para determinar la eficiencia de la comunicación inalámbrica LoRa. El análisis de la comunicación se realizó a una distancia de tres metros entre el Gateway y los dispositivos finales.

El funcionamiento de la red se lo realizó a una distancia corta, para observar y analizar el comportamiento de la transmisión inalámbrica, sin embargo, LoRa se caracteriza por su largo alcance en la comunicación.

Para el análisis del comportamiento de la red en primer lugar se comprobó la conectividad entre los dispositivos LoRa, en segundo lugar, se comparó la recepción de los datos en el servidor primero trabajando con un nodo, posteriormente con tres nodos funcionando simultáneamente, a continuación, se analiza y compara el tiempo de recepción de datos de una variable analógica y una digital, por último, se presenta la interfaz gráfica realizada para el monitoreo e interpretación del sistema.

4.2. Monitorización del tiempo de transmisión entre paquetes en el Gateway

La comunicación LoRa entre el Gateway y los nodos clientes fue satisfactoria, en la Figura 4.25 se muestran una cantidad de datos que fueron enviados hacia el Gateway por parte de los nodos clientes y se estimó un tiempo de envío entre paquetes de seis segundos.

Figura 4.25. Recepción de datos en el Gateway

```

pi@raspberrypi:~/single_chan_pkt_fwd
Archivo Editar Pestañas Ayuda
Packet RSSI: -58, RSSI: -88, SNR: 10, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3651403964,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":10,"rssi":-58,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaI
stat update: [{"stat":{"time":"2020-01-19 23:51:19 GMT","lati":-0.18230,"long":-78.50380,"alti":0,"rxnb":5,"rxok":5,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfm":"Single Channel Gatew
CRC error
Packet RSSI: -62, RSSI: -92, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3663266379,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-62,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -65, RSSI: -97, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3669611599,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-65,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -62, RSSI: -96, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3674605523,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-62,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -64, RSSI: -90, SNR: 10, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3681948737,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":10,"rssi":-64,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaI
stat update: [{"stat":{"time":"2020-01-19 23:51:49 GMT","lati":-0.18230,"long":-78.50380,"alti":0,"rxnb":5,"rxok":4,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfm":"Single Channel Gatew
Packet RSSI: -63, RSSI: -92, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3687471552,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-63,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -66, RSSI: -99, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3693975059,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-66,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -62, RSSI: -97, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3700240936,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-62,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -66, RSSI: -98, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3711822799,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-66,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -64, RSSI: -98, SNR: 10, Length: 15
rxpk update: [{"tst":371822799,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":10,"rssi":-64,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaI
stat update: [{"stat":{"time":"2020-01-19 23:52:19 GMT","lati":-0.18230,"long":-78.50380,"alti":0,"rxnb":5,"rxok":5,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfm":"Single Channel Gatew
Packet RSSI: -63, RSSI: -99, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":371924310,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-63,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -61, RSSI: -100, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3724661997,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-61,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -70, RSSI: -99, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3724661997,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-70,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -65, RSSI: -99, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3737944594,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-65,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -62, RSSI: -99, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3742887563,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-62,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
stat update: [{"stat":{"time":"2020-01-19 23:52:49 GMT","lati":-0.18230,"long":-78.50380,"alti":0,"rxnb":5,"rxok":5,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfm":"Single Channel Gatew
Packet RSSI: -61, RSSI: -100, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3748420853,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-61,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -61, RSSI: -97, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3754177217,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-61,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -69, RSSI: -100, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":376153239,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-69,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -82, RSSI: -87, SNR: 8, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3767977948,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":8,"rssi":-82,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB
Packet RSSI: -61, RSSI: -94, SNR: 9, Length: 15
rxpk update: [{"tst":3774042815,"chan":0,"rfch":0,"freq":915.000000,"stat":1,"modu":"LORA","datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":9,"rssi":-61,"size":15,"data":"QAcZASaAaAaB

```

Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.3. Análisis de la recepción de paquetes en el Servidor trabajando con un nodo cliente

Esta prueba consiste en evaluar el porcentaje de paquetes recibidos en el servidor cuando la red se encuentra funcionando con un nodo cliente, se tomaron cuatro muestras de veinte paquetes LoRa, lo que permitió calcular que de un total de ochenta paquetes el 98.75% fueron recibidos en el servidor.

En la Tabla 4.9 se puede observar el registro de los datos tomados de las cuatro muestras recogidas.

Tabla 4.9. Registro de muestras tomadas en el Servidor trabajando con un nodo

Muestra	Numero de paquetes enviados	Tiempo de transmisión entre paquetes	Paquetes perdidos
1	20	6.2 segundos	0
2	20	6.1 segundos	0
3	20	6.3 segundos	0
4	20	6.3 segundos	1
Porcentaje total paquetes recibidos			98.75%

Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.4. Análisis de la recepción de paquetes en el Servidor trabajando con tres nodos clientes.

Esta prueba consiste en evaluar el porcentaje de paquetes recibidos en el servidor cuando la red se encuentra funcionando con tres nodos clientes, se tomaron cuatro muestras de veinte paquetes LoRa para cada nodo, lo que permitió calcular que al trabajar los tres nodos de manera simultánea se obtuvo el 98.3% de paquetes recibidos en el servidor por parte de los nodos clientes. En la Tabla 4.10, 4.11 y 4.12 se puede observar el registro de los datos tomados en el servidor para cada nodo.

Tabla 4.10. Registro de datos Nodo 1

Muestra	Numero de paquetes enviados	Tiempo de transmisión entre paquetes	Paquetes perdidos
1	20	6.1 segundos	0
2	20	6.2 segundos	1
3	20	6.1 segundos	0
4	20	6.2 segundos	1
Porcentaje total paquetes recibidos			97.5%

Elaborado por: Gabriela Ortiz

Tabla 4.11. Registro de datos Nodo 2

Muestra	Numero de paquetes enviados	Tiempo de transmisión entre paquetes	Paquetes perdidos
1	20	6 segundos	0
2	20	6.2 segundos	0
3	20	6.1 segundos	0
4	20	6.1 segundos	1
Porcentaje total paquetes recibidos			98.75%

Elaborado por: Gabriela Ortiz

Tabla 4.12. Registro de datos en el Nodo 3

Muestra	Numero de paquetes enviados	Tiempo de transmisión entre paquetes	Paquetes perdidos
1	20	6.3 segundos	0
2	20	6.1 segundos	0
3	20	6.2 segundos	1
4	20	6 segundos	0
Porcentaje total paquetes recibidos			98.75%

Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.5. Monitorización del tiempo de recepción de datos de variables análogas y digitales en el Servidor

Para evaluar el tiempo de recepción de los datos análogos y digitales se tomó como referencia el tiempo de envío del dato tomado desde el monitor serie de Arduino y el tiempo de recepción del dato tomado desde el servidor de la red. En la Figura 4.26 se encuentra el registro de los datos que se va a realizar para cada tipo de variable.

Figura 4.26. Monitorización del tiempo de recepción de variables análogas y digitales

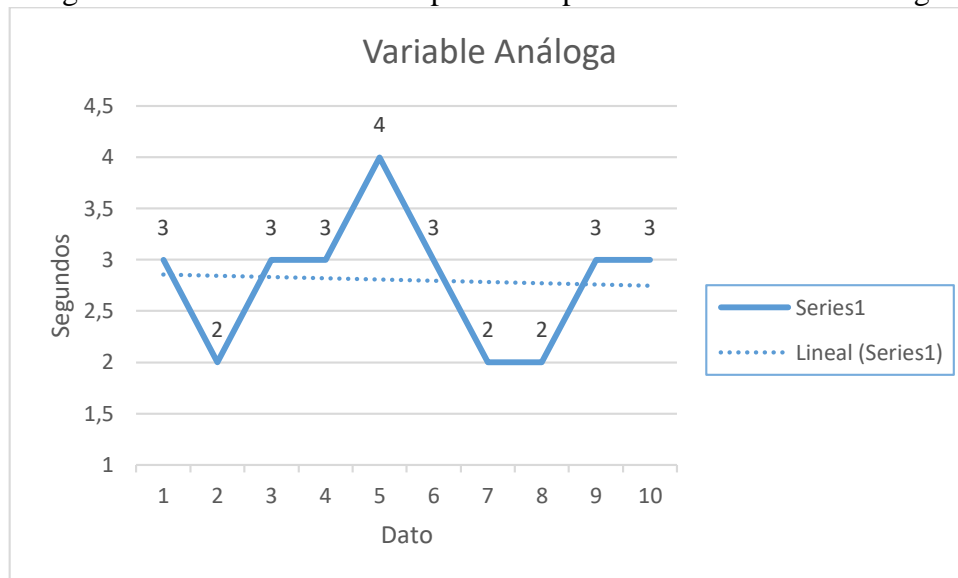
MONITOR SERIE DE ARDUINO		SERVIDOR DE LA RED			
COM3		time	counter	port	
18:22:01.962 ->	1133892: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:22:57	13	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:02.951 ->	Packet queued	18:22:51	12	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:08.196 ->	1523655: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:22:45	11	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:09.181 ->	Packet queued	18:22:40	10	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:13.762 ->	1870755: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:22:34	9	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:14.747 ->	Packet queued	18:22:28	8	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:18.984 ->	2198052: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:22:22	7	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:19.973 ->	Packet queued	18:22:16	6	1	payload: 00 plastico_grande: 0
18:22:25.050 ->	2577586: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:22:11	5	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:26.068 ->	Packet queued	18:22:05	4	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:31.115 ->	2956847: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)	18:21:59	3	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:32.130 ->	Packet queued	18:21:54	2	1	payload: 01 plastico_grande: 1
18:22:36.665 ->	3303122: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:22:37.678 ->	Packet queued				
18:22:42.535 ->	3670785: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:22:43.560 ->	Packet queued				
18:22:47.761 ->	3996005: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:22:48.748 ->	Packet queued				
18:22:53.808 ->	4375479: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:22:54.825 ->	Packet queued				
18:22:59.342 ->	4721391: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:23:00.359 ->	Packet queued				
18:23:04.950 ->	5071884: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)				
18:23:05.970 ->	Packet queued				

Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.5.1. Variable analógica

Se tomó un total de diez datos análogos para determinar el intervalo de tiempo de recepción de una variable analógica, la línea continua de la Figura 4.27 indica el tiempo que tomo cada dato en llegar al servidor, la línea entrecortada indica la tendencia de la grafica teniendo un promedio en la recepción de los datos de una variable analoga de 2,8 segundos.

Figura 4.27. Intervalos de tiempo de recepción de una variable analógica

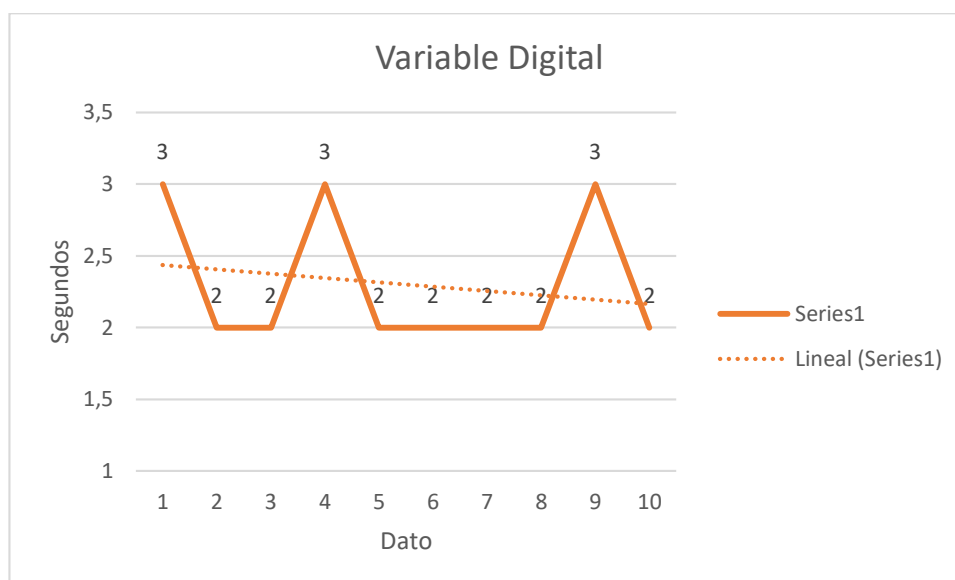


Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.5.2. Variable digital

Se tomo un total de diez datos digitales para determinar el intervalo de tiempo de recepción de una variable digital, la línea continua de la Figura 4.28 indica el tiempo que tomo cada dato en llegar al servidor, la línea entrecortada indica la tendencia de la grafica teniendo un promedio en la recepcion de los datos de una variable digital de 2,3 segundos.

Figura 4.28. Intervalos de tiempos de recepción de una variable digital



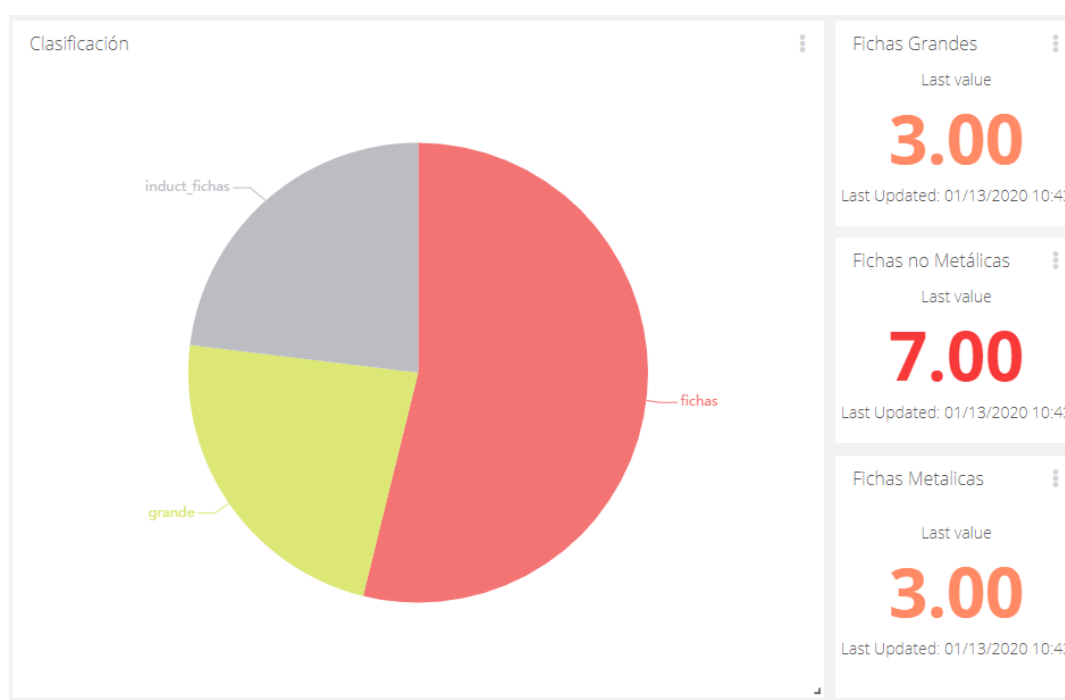
Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.6. Aplicación en Ubidots

En la Figura 4.29 se observa la interfaz gráfica que fue realizada en “Ubidots” para el monitoreo del proceso de clasificación de piezas de manera sencilla.

La interfaz consta de tres contadores que determinan la resultante de la cantidad de piezas clasificadas según su tipo sean estas piezas metálicas, no metálicas y piezas grandes, a su vez se observa una representación en pastel de estos datos, la interfaz también consta de tres indicadores que permiten visualizar el estado de los sensores que determinan las características de las piezas en la planta clasificadora, finalmente se tiene un visualizador gráfico que obtiene los datos de un sensor análogo y representa el tamaño de la pieza.

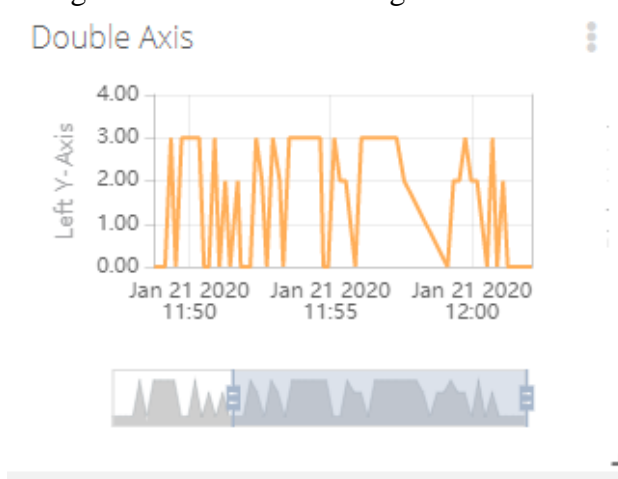
Figura 4.29. Interfaz gráfica en Ubidots



Elaborado por: Gabriela Ortiz

En la Figura 4.30 se indica los datos análogos adquiridos a partir del sensor Sharp 2Y0A02 en la interfaz gráfica desarrollada en “Ubidots”.

Figura 4.30. Variable Análoga en "Ubidots"

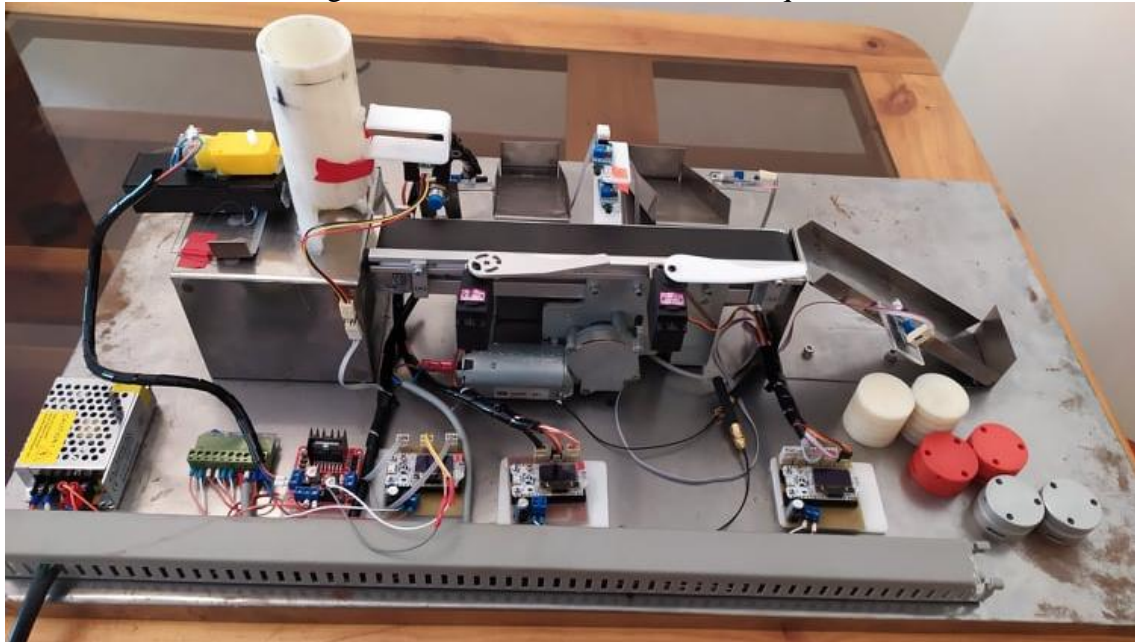


Elaborado por: Gabriela Ortiz

4.7. Maqueta - Planta clasificadora

En la Figura 4.31 se encuentra la maqueta posterior a su ensamblaje con las piezas que serán clasificadas de acuerdo al tipo de material y tamaño, como el principal componente del proceso se encuentran los tres nodos clientes de la red de sensores inalámbricos que se pueden ver a continuación.

Figura 4.31. Resultado final de la maqueta



Elaborado por: Gabriela Ortiz

CONCLUSIONES

Se desarrolló una red de sensores inalámbricos con comunicación LoRa para una planta clasificadora de piezas y mediante una interfaz gráfica se logró obtener la información de las variables involucradas en el proceso, se puede acceder a la aplicación web desde cualquier dispositivo que posea conexión a internet con el fin de monitorear el sistema y observar el estado de los sensores de la planta, el número de piezas que han sido clasificadas, y su tamaño.

Tras la información recopilada en otras tesis e investigaciones se concluye que la tecnología LoRa posee prestaciones de calidad en las comunicaciones inalámbricas y sus aplicaciones se ven ilimitadas en distintas áreas, se optó por una topología tipo estrella debido a que esta topología es la sugerida para trabajar con LoRa.

Se realizó el diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de una planta clasificadora de piezas, la que se conforma por tres nodos clientes que se comunican mediante LoRa con un Gateway, el mismo recibe y procesa información recolectada de los sensores para posteriormente reenviar dicha información a la nube.

Se realizó la implementación de una red de sensores inalámbricos utilizando una Raspberry Pi como Gateway y dispositivos ESP 32 como clientes, la comunicación mediante LoRa entre los dispositivos fue satisfactoria como se menciona en el punto 4.2 donde el tiempo de transmisión entre paquetes es de seis segundos y puede ser configurado de manera individual para cada nodo.

Tras el análisis realizado en el tiempo de recepción de datos de una variable análoga y una digital, se concluye que un dato análogo demora alrededor de 2,8 segundos en llegar al servidor mientras que un dato digital toma alrededor de 2,3 segundos.

Tras analizar el porcentaje de paquetes recibidos de la Tabla 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12 se concluyó que, al aumentar más nodos a la red este no alteró su comportamiento, lo que indica que LoRa es una tecnología escalable.

RECOMENDACIONES

Para obtener un menor tiempo de transmisión de los datos en el Gateway se recomienda deshabilitar los canales que no se están usando en el dispositivo ESP 32.

Se recomienda utilizar la misma frecuencia tanto en los dispositivos finales como en el Gateway que pueden ser modificados por software respectivamente para de esta manera obtener una óptima comunicación.

Para enlazar de manera correcta los dispositivos finales con la plataforma The Things Network, en el programa del mismo debe constar el identificador, y las claves de sesión y aplicación que la plataforma provee, caso contrario los dispositivos no podrán intercambiar información con el servidor.

BIBLIOGRAFÍA

- Albornoz, R., & Soto, E. (2018). *Estudio del Estándar Zigbee*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Aprendiendo Arduino. (5 de Marzo de 2018). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Redes LPWAN.
- Aqeel, A. (19 de Abril de 2018). *Introduction to Raspberry Pi 3*. Obtenido de <https://www.theengineeringprojects.com/2018/04/introduction-to-raspberry-pi-3.html>
- Bertoletti, P., Paiotti, R., & Leca, R. (2019). *Proyectos ESP 32 y LoRa*. Sao Paulo: Editora NCB.
- Bryskowski, A. (2019). Redexia, tuoperador IoT.
- Candia, A., & Varela, L. N. (2017). *WSN para servicios públicos metropolitanos*. Universidad Nacional de la Plata.
- Cano García, J. M. (2016). *Evaluación de Tecnologías Inalámbricas de Área Personal*. Universidad de Málaga, Málaga.
- Cárdenas Villavicencio, O. E., Molina Ríos, J. R., Morocho Román, R. F., Novillo Vicuña, J. P., & Moreno Sotomayor, G. R. (2017). Estudio entre las tecnologías WIFI - LIFI en la optimización del servicio de internet. *Revista Ciencia e Investigación*, 50-51.
- Cevallos Lino, J. L. (2017). *Estudio de Factibilidad para la aplicación de estándares de seguridad en redes Locales inalámbricas de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Estatal del Sur de Manabí*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Chacón Ordoñez, J. M., & Campos Ramirez, Y. A. (2018). *Implementación de un Gateway Low - Cost para el protocolo LoRa*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cruz Vega, M., Oliete Vivas, P., Morales Ríos, C., González Luis, C., Cendón Martín, B., & Hernández Seco, A. (2015). *Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0*. Madrid: EOI ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL PWC.
- Díaz Suárez, Á. (2017). *Sistemas Embebidos en Red Seguros*.
- Dólera, A. A. (2019). *Modelado de Redes LoRaWAN aplicadas a la conservación preventiva de Patrimonio Cultural*. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.
- Dopazo González, L. (2019). *Test y despliegue de tecnología de comunicaciones LoRa para aplicaciones de Internet of Things*.
- Dordoigne, J. (2015). *Redes Informáticas, Nociones fundamentales*. Barcelona: Ediciones ENI.

- Dragino. (20 de Agosto de 2019). *Lora/GPS HAT*. Obtenido de https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora/GPS_HAT
- Fernández Mora, Luis, Garita González, F., Gómez Cambronero, M. G., Pérez Arroyo, D., & Solís Salazar, K. (2016). *Simulación e implementación de una red de sensores inalámbricos*. Universidad de Costa Rica.
- Gandomi, A., Patan , R., Dhingra, S., Babu, R., & Daneshmand, M. (2019). *Internet of Things Mobile - Air Pollution Monitoring System (IoT - Mobair)*.
- García Vargas, M. A., & Ríos Campos, C. A. (2017). Software de Marketing Universitario con Tecnología Bluetooth. *Revista Científica Institucional TZHOECOEN*, 25.
- Garrel, A., & Guilera, L. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Barcelona: Marge Books.
- Glas Espinel, J., Alvarado Espinel, V., León Abad, S., & Parra Fonseca, J. C. (2015). *Política Industrial del Ecuador 2016-2025 mas industrias mayor desarrollo*.
- Guaña Moya, E. J. (2016). *Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Heltec Automation. (2018). *Heltec Automation*. Obtenido de <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- Instituto Nacional de Ciberseguridad. (2019). *Ciberseguridad en las comunicaciones inalámbricas en entornos industriales*.
- Jiménez Ballart, D. A. (2018). *Estudio de la cobertura de la Modulación LoRa en la banda de 915 MHz en un ambiente urbano*. Santiago de Chile.
- Kocakulak, M., & Butun, I. (2017). *An Overview of Wireless Sensor Networks Towards Internet of Things*.
- Llamas, L. (1 de Abril de 2018). *Ingeniería, Informática y diseño*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/esp32/>
- LoRa Alliance. (Noviembre de 2015). Obtenido de <https://loralliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- Lorrain, R., & Beaujard, O. (7 de Noviembre de 2019). 30 operadores móviles a nivel mundial están eligiendo desplegar LoRaWAN. (L. Pautasio, Entrevistador)
- Maldonado, F., Proaño , G., & Equipo Editorial Ekos. (2015). *La Industria en Ecuador*. Ekos, 47.
- Manotas Cmapos, J. J., & Martinez Marin, N. (2018). *Exploración de las plataformas IoT en el mercado para fomentar el conocimiento, buen uso y efectividad de los dispositivos IoT creados en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano*. Bogotá D.C.

- Matus Ruiz, M., & Ramírez Autran, R. (2016). *Ciudades Inteligentes en Iberoamérica; ejemplos de iniciativas desde el sector privado, la sociedad civil, el gobierno y la academia*. México, D.F.: Infotec.
- Mazzeo, H. H., Rapallini, J. A., Rodríguez, O. E., & Zabaljauregui, M. (2018). *Sistema de comunicación para la implementación de redes inalámbricas de Sensores*. Buenos Aires.
- Merino Polidura, J. C. (2019). *Despliegue y Evaluación de una Red On-Site LoRaWAN basada en The Things Network Stack versión 3*. Universidad de Cantabria.
- Mesías Basurto, D. C. (2016). *Selección de Rutas en una Red de Sensor Inalámbrica, en base al nivel de batería y distancia entre nodos sensores mediante la utilización del algoritmo Kruskal*. Pontificia Universidad del Ecuador.
- Mora Magallanes, H. V. (2019). *Diseño, Desarrollo e Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en Internet de las Cosas (IoT).- Caso de Estudio Cultivo de Frijol*. Lima.
- Muñoz Barragán, S. N., Toquica Álvarez, A. F., & Padilla Bejarano, J. B. (2018). Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de variables microclimáticas en el Relicto Vegetal Cedro Rosado. *Scientia et Technica*, 502.
- Newie Ventures. (26 de Febrero de 2018). *LoRaWAN: OTTA or ABP?* Obtenido de <https://www.newieventures.com.au/blogtext/2018/2/26/lorawan-otaa-or-abp>
- Ordóñez Monfort, I. (2017). *Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa*. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/64365/6/iordonezTFM0617mem%C3%B2ria.pdf>
- Ortis García, C. (3 de Junio de 2018). *Linkedin*. Obtenido de El primer Gateway libre para IoT de Baleares (v2): <https://www.linkedin.com/pulse/el-primer-gateway-libre-para-iot-de-baleares-m-carlos-orts-garc%C3%ADa/>
- Palacios Ortiz, F., Espinoza Villón, Diana, & Orozco Lara, Fausto. (2017). *Diseño de una Red Inalámbrica Corporativa*. Guayaquil: Editorial Compás.
- Parreño Sañicela, í. F., & Solís Goyes, A. M. (2019). *Evaluación de eficiencia energética en las comunicaciones encriptadas de una red de sensores inalámbricos (WSN) que monitoriza ondas sísmicas*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Quito.
- Pastor, J. (16 de Abril de 2018). *Raspberry Pi 3 Modelo B+, análisis: mas potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando*. Obtenido de <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>
- Peralta Santos, J. F. (2018). *Evaluación del rango de transmisión de LoRa para redes de sensores inalámbricos con LoRaWAN en cuencas hidrográficas en función del tamaño de carga útil, altura del gateway y potencia de transmisión*. Cuenca.

- Pérez García, R. (2017). *Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Prieto Blásquez, J. (2015). *Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos*. Universitat Oberta de Catalunya. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40184329/Tecnologia_y_de_sarrollo_en_dispositivos_moviles_Modulo_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Cr
- Reyes Díez, A. (2017). *Integración de dispositivos IoT en una red comunitaria*. Universidad del País Vasco.
- Rodríguez Lallana, M. (2018). *Diseño de un sensor de temperatura IoT para la red LoRa*. Valladolid.
- Sabas, A. (2018). *Tecnologías Inlámbricas para el internet de las Cosas*. SG Software Guru.
- Salazar, J. (2017). *TechPedia*. Obtenido de Redes Inalámbricas: <http://techpedia.fel.cvut.cz/es/single/?objectId=9>
- Santamaría Velázquez, J. (2015). *Control remoto usando Bluetooth*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Vela, A. (Abril de 2016). Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el monitoreo de Humedad y Tempreatura en Cultivos - Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos. *Revista Politécnica*.
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). *El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras*. México.
- Zumba R., L. (12 de Diciembre de 2016). Industrias 4.0. El arranque de una nueva Era. *Expreso*, pág. 18.